ORTAÖĞRETİM
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

MEBİ

KONU ÖZETLERİ

FİZİK

AYT

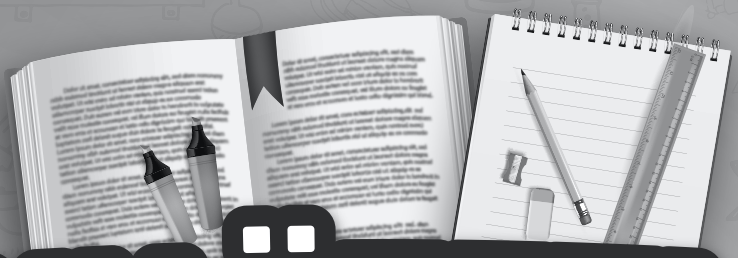
Zengin ve Anlaşılır İçerik

Hızlı ve Etkili Öğrenme

Görsel Destekli Anlatım

ORTAÖĞRETİM
GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

MEBİ



KONU ÖZETLERİ

FİZİK

AYT

Zengin ve Anlaşılır İçerik

Hızlı ve Etkili Öğrenme

Görsel Destekli Anlatım

MEBİ AYT KONU ÖZETLERİ - FİZİK

ISBN 978-975-11-8469-6

Yazar KOMİSYON

mebi.eba.gov.tr

Bu yayının tüm yayın hakları Millî Eğitim Bakanlığı'na aittir. Hiçbir şekilde ticari amaçla kullanılamaz veya kullandırılamaz. Bu kitabın ve kitapta yer alan içeriklerin ticari amaçla kullanılması, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Yasası'na aykırıdır. Aykırı davrananlar hakkında hukuki ve cezai her türlü başvuru hakkı saklıdır.

Millî Eğitim Bakanlığı
Atatürk Bulvarı No: 98
Bakanlıklar / ANKARA

Tel: 0312 4132680
0312 4132681
0312 4131838

www.meb.gov.tr

İSTİKLÂL MARŞI

Korkma, sönmez bu şafaklarda yüzen al sancak;
Sönmeden yurdumun üstünde tüten en son ocak.
O benim milletimin yıldızıdır, parlayacak;
O benimdir, o benim milletimindir ancak.

Çatma, kurban olayım, çehreni ey nazlı hilâl!
Kahraman ırkıma bir gül! Ne bu şiddet, bu celâl?
Sana olmaz dökülen kanlarımız sonra helâl.
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl.

Ben ezelden beridir hür yaşadım, hür yaşarım.
Hangi çılgın bana zincir vuracakmış? Şaşarım!
Kükremiş sel gibiyim, bendimi çiğner, aşarım.
Yırtarım dağları, enginlere sığmam, taşarım.

Garbın âfâkını sarmışsa çelik zırhlı duvar,
Benim iman dolu göğsüm gibi serhaddim var.
Ulusun, korkma! Nasıl böyle bir imanı boğar,
Medeniyyet dediğin tek dişi kalmış canavar?

Arkadaş, yurduma alçakları uğratma sakın;
Siper et gövdeni, dursun bu hayâsızca akın.
Doğacaktır sana va'dettiği günler Hakk'ın;
Kim bilir, belki yarın, belki yarından da yakın.

Bastığın yerleri toprak diyerek geçme, tanı:
Düşün altındaki binlerce kefensiz yatanı.
Sen şehit oğlusun, incitme, yazıktır, atanı:
Verme, dünyaları alsan da bu cennet vatanı.

Kim bu cennet vatanın uğruna olmaz ki feda?
Şüheda fışkıracak toprağı sıksan, şüheda!
Cânı, cânânı, bütün varımı alsın da Huda,
Etmesin tek vatanımdan beni dünyada cüda.

Ruhumun senden İlâhî, şudur ancak emeli:
Değmesin mabedimin göğsüne nâmahrem eli.
Bu ezanlar -ki şehadetleri dinin temeli-
Ebedî yurdumun üstünde benim inlemeli.

O zaman vecd ile bin secde eder -varsa- taşım,
Her cerîhamdan İlâhî, boşanıp kanlı yaşım,
Fışkırır ruh-ı mücerret gibi yerden na'şım;
O zaman yükselerek arşa değer belki başım.

Dalgalan sen de şafaklar gibi ey şanlı hilâl!
Olsun artık dökülen kanlarımın hepsi helâl.
Ebediyyen sana yok, ırkıma yok izmihlâl;
Hakkıdır hür yaşamış bayrağımın hürriyyet;
Hakkıdır Hakk'a tapan milletimin istiklâl!

Mehmet Âkif ERSOY

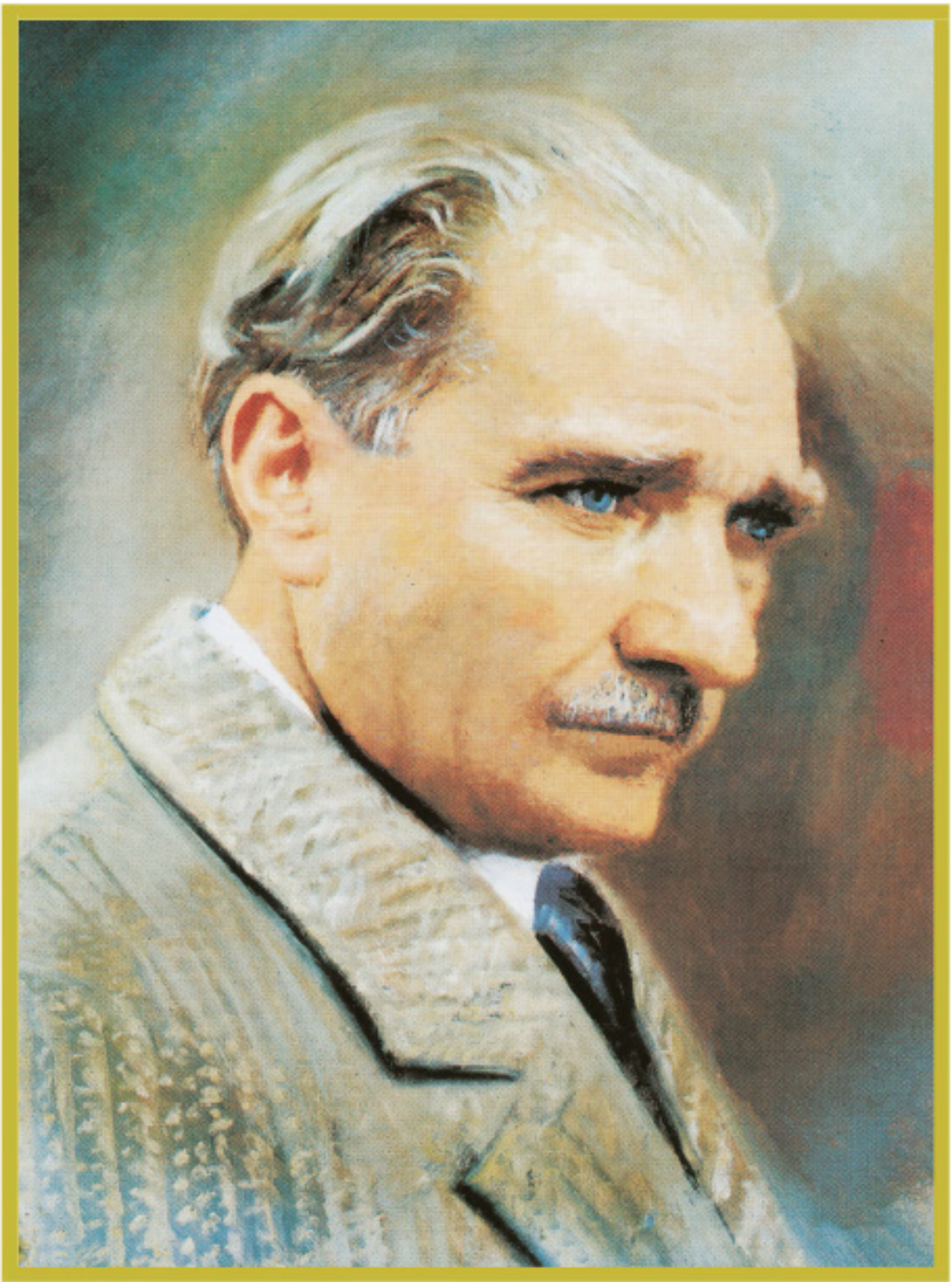
GENÇLİĞE HİTABE

Ey Türk gençliği! Birinci vazifen, Türk istiklâlini, Türk Cumhuriyetini, ilelebet muhafaza ve müdafaa etmektir.

Mevcudiyetinin ve istikbalinin yegâne temeli budur. Bu temel, senin en kıymetli hazinendir. İstikbalde dahi, seni bu hazineden mahrum etmek isteyecek dâhilî ve hâricî bedhahların olacaktır. Bir gün, istiklâl ve cumhuriyeti müdafaa mecburiyetine düşersen, vazifeye atılmak için, içinde bulunacağın vaziyetin imkân ve şeraitini düşünmeyeceksin! Bu imkân ve şerait, çok namüsait bir mahiyette tezahür edebilir. İstiklâl ve cumhuriyetine kastedecek düşmanlar, bütün dünyada emsali görülmemiş bir galibiyetin mümessili olabilirler. Cebren ve hile ile aziz vatanın bütün kaleleri zapt edilmiş, bütün tersanelerine girilmiş, bütün orduları dağıtılmış ve memleketin her köşesi bilfiil işgal edilmiş olabilir. Bütün bu şeraitten daha elîm ve daha vahim olmak üzere, memleketin dâhilinde iktidara sahip olanlar gaflet ve dalâlet ve hattâ hıyanet içinde bulunabilirler. Hattâ bu iktidar sahipleri şahsî menfaatlerini, müstevlîlerin siyasî emelleriyle tevhit edebilirler. Millet, fakr u zaruret içinde harap ve bîtap düşmüş olabilir.

Ey Türk istikbalinin evlâdı! İşte, bu ahval ve şerait içinde dahi vazifen, Türk istiklâl ve cumhuriyetini kurtarmaktır. Muhtaç olduğun kudret, damarlarındaki asil kanda mevcuttur.

Mustafa Kemal Atatürk



MUSTAFA KEMAL ATATÜRK

İÇİNDEKİLER

1. Vektörler 9
2. Bağıl Hareket 16
3. Newton'ın Hareket Yasaları (Net Kuvvetin Hesaplanması) 21
4. Newton'ın Hareket Yasaları (Net Kuvvet Etkisindeki Cismin Hareketi) 29
5. Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket 37
6. Serbest Düşme ve Hava Direnç Kuvveti 45
7. Bir Boyutta Yukarı veya Aşağı Atılan Cisimlerin Hareketi 48
8. Yatay Atış 51
9. Eğik Atış 54
10. İş Kavramı ve Enerji Türleri 57
11. Enerji Korunumu 65
12. İtme ve Çizgisel Momentum Arasındaki İlişki 70
13. Çizgisel Momentumun Korunumu (Bir Boyutta Çarpışmalar) 73
14. Çizgisel Momentumun Korunumu (İki Boyutta Çarpışmalar ve Patlamalar) 76
15. Tork 80
16. Denge ve Denge Şartları 85
17. Kütle ve Ağırlık Merkezi 90
18. Basit Makineler (Basit Makinelerin Özellikleri, Kaldıraçlar, Makaralar) 95
19. Basit Makineler (Palanga, Eğik Düzlem, Vida, Çıkrık, Çark, Kasnaklar ve Basit Makinelerde Verim) 98
20. Elektriksel Kuvvet 101
21. Elektrik Alan 103
22. Elektriksel Potansiyel Enerji ve Elektriksel Potansiyel 105
23. Elektriksel Potansiyel Fark ve Elektriksel İş 107
24. Düzgün Elektrik Alan 110
25. Sığa Kavramı ve Sığaçlar 113
26. Manyetik Alan 116
27. Düz Tele Etki Eden Manyetik Kuvvet ve Manyetik Kuvvetin Döndürme Etkisi 120
28. Yüklü Parçacıkların Manyetik Alan İçindeki Hareketi 122
29. Manyetik Akı ve İndüksiyon Akımı 124
30. Öz İndüksiyon Akımı, Lorentz Kuvveti ve Elektromotor Kuvveti 126
31. Alternatif Akım 130
32. Transformatörler 135
33. Düzgün Çembersel Hareket Kavramları 137
34. Merkezcil Kuvvet 144
35. Virajlarda Emniyetli Dönüş Şartları 151
36. Öteleme ve Dönme Hareketi 154
37. Eylemsizlik Momenti ve Dönme Kinetik Enerjisi 157
38. Açısal Momentum 161

39. Kütle Çekim Kuvveti 166
40. Kepler Kanunları 172
41. Basit Harmonik Hareket Kavramları 175
42. Basit Sarkaç ve Yay Sarkacı 182
43. Su Dalgalarında Kırınım ve Girişim 185
44. Işığın Çift Yarıkta Girişimi 190
45. Işığın Tek Yarıkta Kırınımı 194
46. Işığın Dalga Doğası ve Doppler Olayı 197
47. Elektromanyetik Dalgalar 200
48. Atomun Tarihsel Gelişimi ve Bohr Atom Teorisi 208
49. Büyük Patlama Teorisi 224
50. Kararlı ve Kararsız Atomlar, Radyoaktif Işımalar 235
51. Özel Görelilik (Einstein'in Temel Postülaları) 242
52. Özel Görelilik (Göreli Zaman, Göreli Uzunluk ve Kütle Enerji Eşdeğerliği) 246
53. Fotoelektrik Olay 249
54. Fotoelektrik Olay Uygulamaları ve Kesme Gerilimi 253
55. Compton Saçılması ve De Broglie Dalga Boyu 258
56. Görüntüleme Cihazları, LCD ve Plazma 261
57. Yarı İletken Teknolojisi 265
58. Süper İletkenler 269
59. Nanoteknoloji 271
60. LASER Işınları 275

VEKTÖRLER

Fizikte kullanılan büyüklükler skaler ve vektörel olmak üzere iki farklı şekilde belirtilir. Sayısal bir değer ve bir birimle belirtilen niceliklere **skaler nicelikler** denir.

Fizikte bazı nicelikleri doğru tanımlamak için sadece skaler olarak belirtmek yeterli değildir. Fizikte kullanılan niceliklerden hız, ivme, elektrik alan, itme, kuvvet, momentum ve manyetik alan gibi nicelikler **vektörel niceliklerdir**.

Bir vektörel niceliği doğru tanımlamak için;

a) Başlangıç noktası

b) Doğrultu

c) Yön

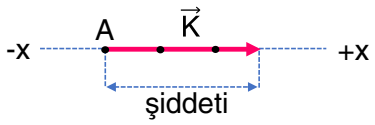
d) Şiddet (büyüklük)

gibi elemanlarının belirtilmesi gerekir.

HATIRLAYALIM

Skaler nicelikler	Vektörel nicelikler
Kütle	Ağırlık
Uzunluk	Konum
Zaman	İvme
Sürat	Hız
Sıcaklık	Kuvvet
Hacim	Tork
Güç	İtme (İmpuls)
Elektrik yükü	Elektrik Alan
Enerji	Yer değiştirme
Isı	Momentum
Işık şiddeti	Manyetik Alan

Bir Vektörün Gösterimi

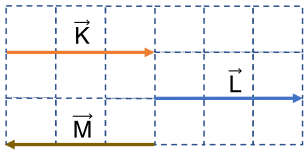


Şekildeki $\vec{K}$ vektörünün

Başlangıç noktası	A
Doğrultusu	Yatay (x doğrultusunda)
Yönü	+x yönünde
Şiddeti (büyüklüğü)	3 birim

Eşit Vektörler

İki vektörün eşit olabilmesi için şiddetlerinin ve yönlerinin aynı olması gerekir. (Başlangıç noktalarının aynı olması gerekmez.)



$\vec{K} = \vec{L}$

$\vec{M} = -\vec{K} = -\vec{L}$

Şekilde $\vec{K}$ ile $\vec{L}$ vektörlerinin başlangıç noktaları farklı olmasına rağmen yön ve büyüklüğü aynı olduğu için eşit vektörlerdir.

$\vec{M}$ vektörü ise şiddetinin (büyüklüğünün) aynı olmasına rağmen yönü farklı olduğu için $\vec{K}$ ile $\vec{M}$ ya da $\vec{L}$ ile $\vec{M}$ vektörleri eşit vektörler değildir.

Ters Vektörler

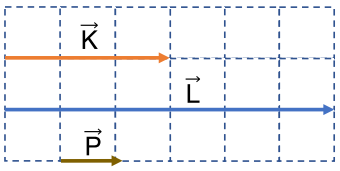
Doğrultuları aynı kalacak şekilde yönü değişen vektörlerin işaretleri de değişir. $\vec{M}$ yön olarak $\vec{K}$ ile $\vec{L}$ vektörlerine göre ters yönlü olduğu için;

$\vec{M} = -\vec{K} = -\vec{L}$

eşitlikleri yazılabilir.

Vektörlerin Reel Sayı ile Çarpılması

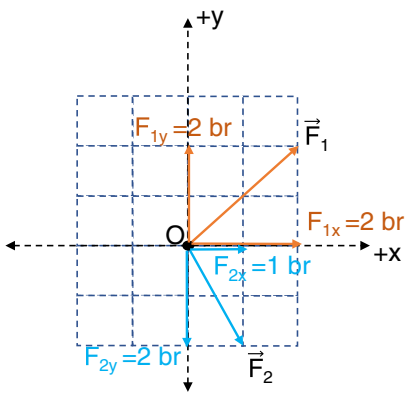
Bir vektörün skaler bir sayıyla çarpımı ya da bölümü yine bir vektördür. Sonuçta sadece vektörün şiddeti değişmiştir.



$\vec{L} = 2\vec{K}$

$\vec{P} = \dfrac{\vec{K}}{3}$

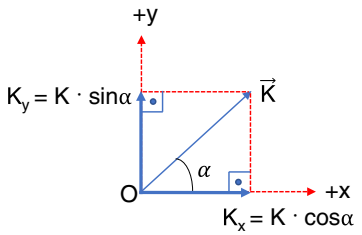
İki Boyutlu Kartezyen Koordinat Sisteminde Vektör Çizimi



x-y koordinat sisteminde başlangıç noktası O olan $\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvet vektörleri şekildeki gibi gösterilmiş olsun.

$\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvet vektörlerinin hem x hem de y eksenlerinde bileşenleri bulunmaktadır. Bu bileşenler;

	x bileşeninin yönü ve büyüklüğü	y bileşeninin yönü ve büyüklüğü
$\vec{F}_1$ kuvveti	+x yönü, 2 br	+y yönü, 2 br
$\vec{F}_2$ kuvveti	+x yönü, 1 br	- y yönü, 2 br



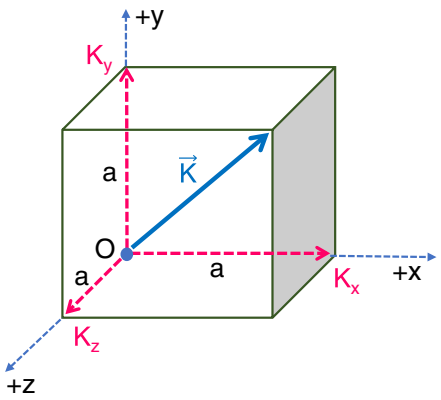
İki boyutlu dik kartezyen koordinat sisteminde $\vec{K}$ vektörünün x ve y eksenlerindeki bileşenleri;

$K_x = K \cdot \cos\alpha$

$K_y = K \cdot \sin\alpha$

şeklinde yazılabilir.

Üç Boyutlu Kartezyen Koordinat Sisteminde Vektör Çizimi



x-y-z koordinat sisteminde başlangıç noktası O olan bir $\vec{K}$ vektörü a kenarlı bir küp üzerinde şekildeki gibi gösterilmiş olsun.

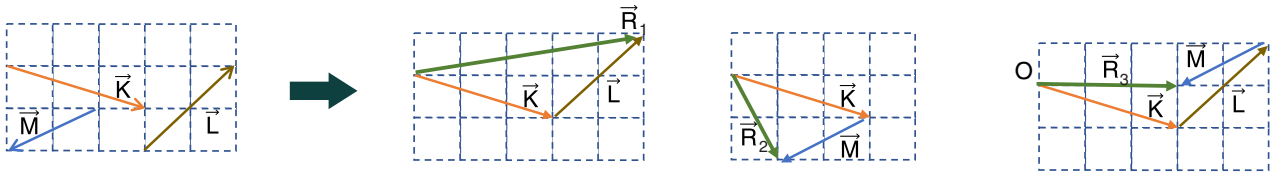
$\vec{K}$ vektörünün x, y ve z eksenlerinde bileşenleri bulunmaktadır. Bu bileşenler;

x bileşeninin yönü ve büyüklüğü	y bileşeninin yönü ve büyüklüğü	z bileşeninin yönü ve büyüklüğü
+x yönünde, a	+y yönünde, a	+z yönünde, a

Vektörlerin Toplanması (Bileşke Vektör)

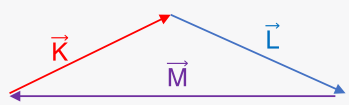
1. Uç Uca Ekleme Yöntemi

Bu yöntemde ikinci vektörün başlangıç noktası, doğrultu ve yönü değiştirilmeden ilk vektörün bitiş noktasına gelecek şekilde eklenir. İlk vektörün başlangıç noktasından son vektörün bitiş noktasına doğru çizilen vektöre de toplam vektör ya da bileşke vektör denir.



$\vec{R}_1 = \vec{K} + \vec{L}$ $\quad$ $\vec{R}_2 = \vec{K} + \vec{M}$ $\quad$ $\vec{R}_3 = \vec{K} + \vec{L} + \vec{M}$

PÜF NOKTA

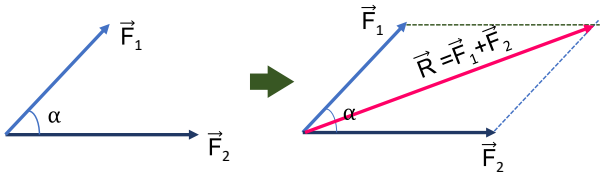


$\vec{K} + \vec{L} + \vec{M} = 0$

Vektörler ardışık eklendiğinde son vektörün bitiş noktası ilk vektörün başlangıç noktası ile çakışırsa toplam vektör sıfır olur.

2. Paralelkenar Metodu

Bu yöntemde iki vektörün başlangıç noktaları birleştirilip bir vektörden diğerine paralel çizilerek oluşturulan paralelkenarın köşegeni bileşke vektör olarak tanımlanır.



Paralelkenar yöntemiyle çizilerek bulunan iki vektörün bileşkesinin büyüklüğü, kosinüs teoremi yardımıyla hesaplanır. Buna göre şekildeki vektörlerin büyüklüğü F_1 ve F_2 ise bileşkesinin büyüklüğü,

$$R^2 = (F_1)^2 + (F_2)^2 + 2F_1 \cdot F_2 \cdot \cos\alpha$$

bağıntısıyla bulunur.

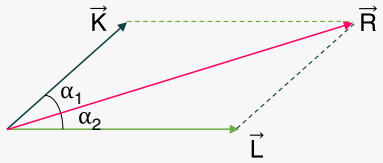
$\alpha = 90°$ ise $\cos 90° = 0$ olduğundan bağıntı $R^2 = (F_1)^2 + (F_2)^2$ olarak kullanılır. (Pisagor bağıntısı)

KRİTİK BİLGİ

Şiddetleri eşit ve a olan aynı düzlemdeki iki vektörden elde edilecek toplam (bileşke) vektörün büyüklüğü, iki vektör arasındaki açıya göre;

a) 0° ise $R = 2a$
b) 60° ise $R = \sqrt{3}a$
c) 90° ise $R = \sqrt{2}a$
d) 120° ise $R = a$
e) 180° ise $R = 0$ şeklinde oluşur.

DİKKAT



İki vektörün bileşkesi (toplamı) $\vec{R}$ ile vektörler arasındaki açılar (α_1 ve α_2) arasında;

a) $\vec{K}$ vektörünün şiddeti $\vec{L}$ vektöründen büyük ise, $\alpha_2 > \alpha_1$

b) $\vec{K}$ vektörünün şiddeti $\vec{L}$ vektöründen küçük ise, $\alpha_1 > \alpha_2$

c) $\vec{K}$ vektörünün şiddeti $\vec{L}$ vektörüne eşit ise, $\alpha_2 = \alpha_1$

KRİTİK BİLGİ

İki vektörün bileşkesi (toplamı) olan $\vec{R}$ vektörü, şiddeti büyük olan vektöre daha yakın olur.

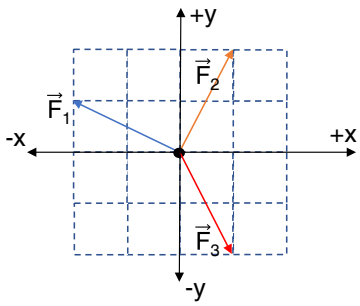
3. Bileşenlere ayırma yöntemi

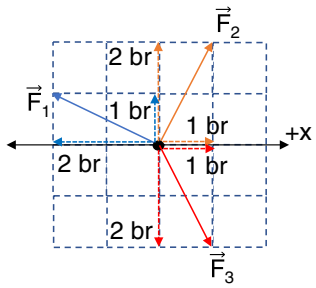
Bu yöntemde iki ya da daha fazla vektörün x ve y eksenlerindeki bileşenleri bulunur, aynı yöndeki bileşenlerin büyüklüğü toplanır, zıt yönlerdeki bileşenlerin büyüklüğü çıkarılır.

Bu işlemler sonucu;

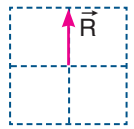
a) Eksenlerin sadece biri üzerinde vektör kalırsa bu bileşke vektör olur.

b) x ve y eksenleri üzerinde birbirine dik iki vektör kalırsa bu iki vektörün bileşkesi oluşturulur.

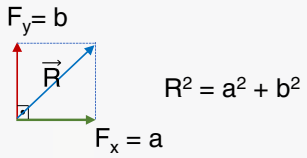




	x bileşeni	y bileşeni
$\vec{F}_1$ kuvveti	-2	+1
$\vec{F}_2$ kuvveti	+1	+2
$\vec{F}_3$ kuvveti	+1	-2
Toplam ($\vec{R}$)	0	+1

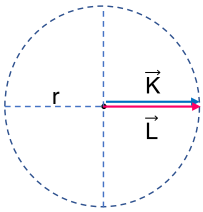


DİKKAT



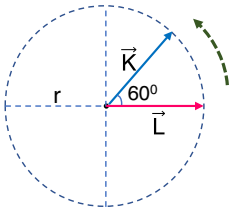
Bileşenlere ayırma yöntemi ile sadeleştirmeler yapıldığında x ve y eksenlerinde birer vektör kalırsa bu iki vektörün bileşkesinin büyüklüğü Pisagor bağıntısı ile bulunur.

İki vektör arasındaki açı değişirken toplam vektör nasıl değişir?

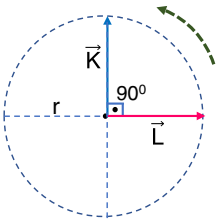


Aynı yöndeki iki vektörün toplamı maksimum olup

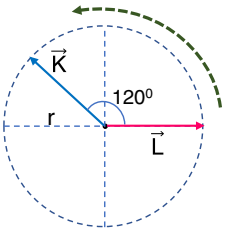
$r + r = 2r$ olur,



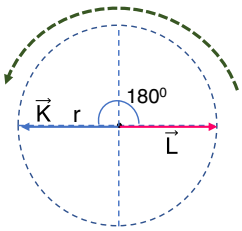
K vektörü 60° döndürülünce toplam vektör $\sqrt{3}r$ olur .



K vektörü 90° döndürülünce toplam vektör $\sqrt{2}r$ olur .



K vektörü 120° döndürülünce toplam vektör r olur .

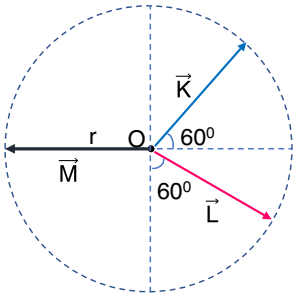


K vektörü 180° döndürülünce toplam vektör minimum değer alır ve sıfır olur.

DİKKAT

İki vektörün toplamıyla oluşan toplam vektörün büyüklüğü vektörler arasındaki açı arttıkça küçülür.

Vektörlerin Toplam ya da Farklarını Özel Durumları Kullanarak Hesaplama



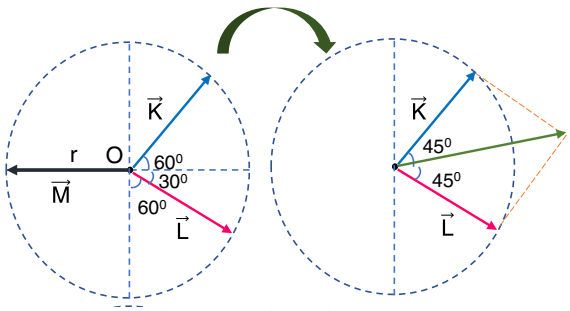
r yarıçaplı çember üzerinde gösterilen $\vec{K}$, $\vec{L}$ ve $\vec{M}$ vektörlerinden elde edilecek;

a) $\vec{K} + \vec{L}$

b) $\vec{K} + \vec{M}$

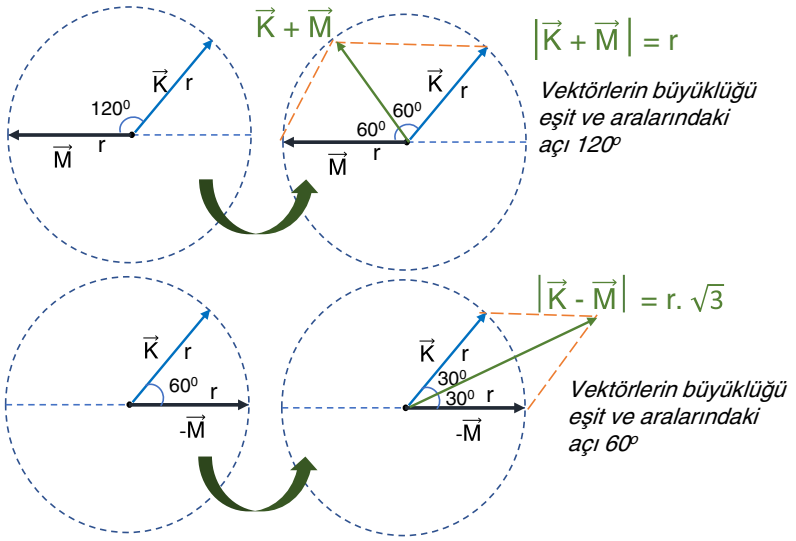
c) $\vec{K} - \vec{M}$

vektörlerinin büyüklüğünü bulalım.



$|\vec{K} + \vec{L}| = r.\sqrt{2}$

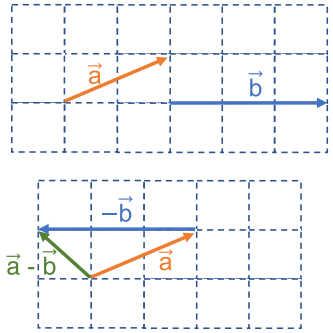
Vektörlerin büyüklüğü eşit ve aralarındaki açı 90º



Vektörlerin Çıkarılması (Fark Vektör)

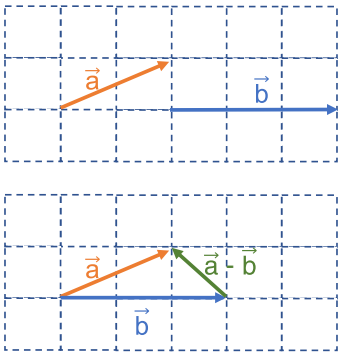
İki vektör arasında çıkarma işlemi için iki yöntem kullanılabilir.

I. Yöntem



$\vec{a}$ ve $\vec{b}$ gibi iki vektörün $\vec{a} - \vec{b}$ şeklindeki fark vektörünün bulunması için önce $\vec{a}$ çizilir, $\vec{a}$ vektörünün bitiş noktasına $(-\vec{b})$ vektörünün başlangıç noktası getirilerek eklenir ve toplama işlemi yapılır ve $\vec{a}$ vektörünün başlangıç noktasından $-\vec{b}$ vektörünün bitiş noktasına doğru çizilen vektörde $\vec{a} - \vec{b}$ fark vektörü olur.

II. Yöntem



Vektörlerin doğrultu ve yönleri korunarak başlangıç noktaları çakıştırılır. – işaretli vektörün bitiş noktasından, diğer vektörün bitiş noktasına çizilen vektör fark vektörünü verir.

Bu yöntemde fark vektörünün yönü daima pozitif işaretli vektöre doğrudur.

Bir Vektörün İki Boyutlu Kartezyen Koordinat Sisteminde Bileşenlerini Çizerek Büyüklüklerini Hesaplama

x-y koordinat sisteminde;

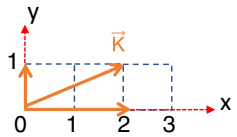
$\vec{K}(2 , 1)$,

$\vec{L}(-2 , 3)$,

$\vec{M}(-3 , -1)$

vektörlerini tanımlayarak vektörlerin büyüklüğünü belirleyelim.

$\vec{K}(2 , 1)$

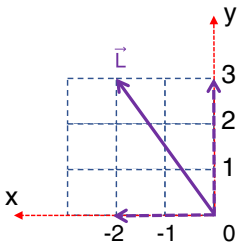


$\vec{K}$ vektörünün büyüklüğü

$K^2 = 2^2 + 1^2$

$K = \sqrt{5}$ br

$\vec{L}(-2 , 3)$

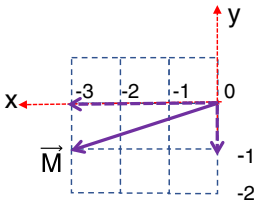


$\vec{L}$ vektörünün büyüklüğü

$L^2 = 2^2 + 3^2$

$L = \sqrt{13}$ br

$\vec{M}(-3 , -1)$



$\vec{M}$ vektörünün büyüklüğü

$M^2 = 3^2 + 1^2$

$M = \sqrt{10}$ br

Üçlü Kartezyen Koordinat Sisteminde Vektörlerin Gösterimi ve Toplama İşlemi

Bir kenar uzunluğu a kadar olan küp üzerinde bir taban ve bir yanal yüzeyinin üzerindeki $\vec{K}$ ve $\vec{L}$ vektörleri gösterilmiş olsun.

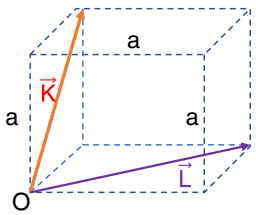
$\vec{K}$ ve $\vec{L}$ vektörlerinin x, y ve z üçlü kartezyen koordinat sisteminde oluşan bileşenleri şekildeki gibidir.

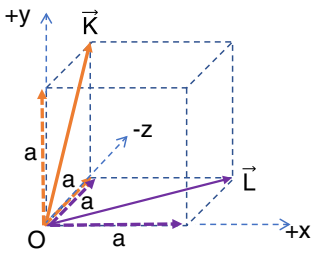
x, y ve z üçlü kartezyen koordinat sisteminde oluşan vektörlerin bileşkesi (toplamı),

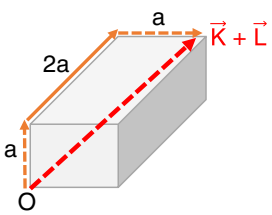
$R^2 = x^2 + y^2 + z^2$ bağıntısı yardımıyla

$R^2 = a^2 + a^2 + (2a)^2$

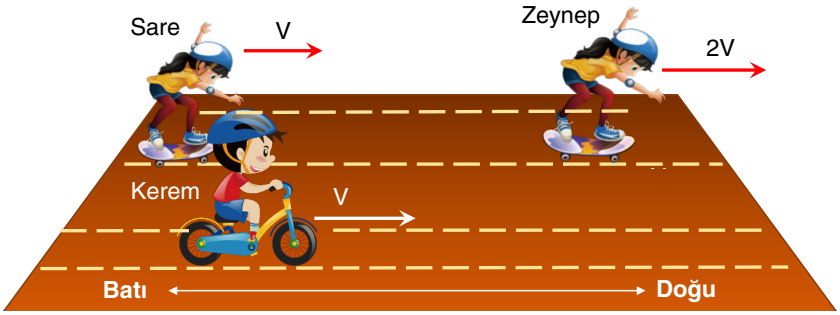
$R = a \cdot \sqrt{6}$ büyüklünde bulunur.







BAĞIL HAREKET



Doğrusal bir yol üzerindeki hareketli çocuklardan Sare, Kerem'e bakarak Kerem'in durgun olduğunu, Zeynep'in ise 2v hızıyla değil v hızıyla hareket ettiğini söylemektedir.

Zeynep Kerem'e baktığında ise Kerem'in doğu yönünde v hızıyla değil, batı yönünde v hızıyla hareket ettiğini söylemiştir.

Hareketli bir gözlemci bir başka hareketlinin hareketini durgun bir gözlemciye göre neden farklı algılar?

Gözlemcilerin bir hareketlinin hız büyüklüğünü veya hareket yönünü farklı algılamalarının sebebi, farklı gözlem noktaları (referans sistemi) içinde bulunmalarından dolayıdır.

Bir cismin herhangi bir referans sistemindeki gözlemciye göre hareketine **bağıl hareket**, sahip olduğu hıza ise **bağıl hız** denir.

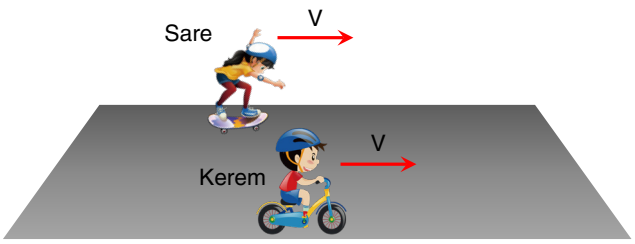
SABİT HIZLI İKİ CİSMİN BİRBİRİNE GÖRE HAREKETİ

Bağıl hızın yönü ve büyüklüğü vektörel işlemler yardımıyla bulunur. Bağıl hız bulunurken önce gözlemci ve gözlenen nesnenin yere göre hız vektörleri belirlenir.

Bağıl hız işlemi,

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci}$$

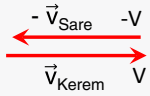
bağıntısıyla gözlenen cismin yere göre hızından, gözlemcinin yere göre hızı vektörel olarak çıkarılarak yapılır.

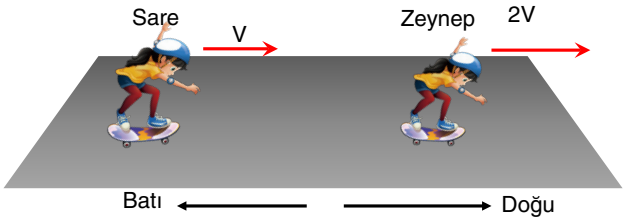


Sare Kerem'e bakarak Kerem'in hızını,

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{Kerem} - \vec{v}_{Sare}$

$\vec{v}_{bağıl} = 0$ olup, duruyor gibi görür.

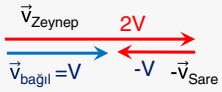


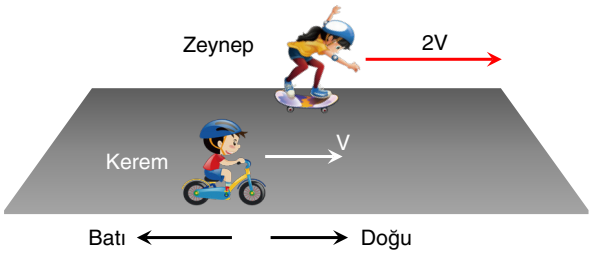


Sare, Zeynep'e bakarak Zeynep'in hızını,

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{Zeynep} - \vec{v}_{Sare}$

doğu yönünde v büyüklüğünde bir hız ile hareket ediyor görür.

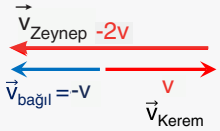




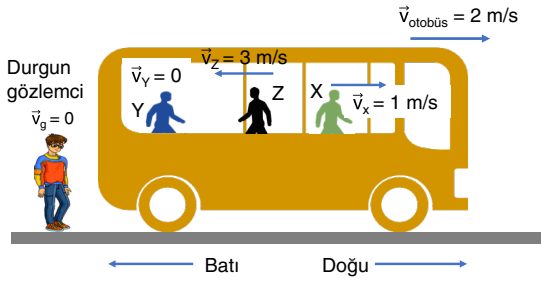
Zeynep Kerem'e bakarak Kerem'in hızını,

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{Kerem} - \vec{v}_{Zeynep}$

batı yönünde v büyüklüğünde bir hız ile hareket ediyor görür.



YERE GÖRE HIZ (Durgun Bir Gözlemciye Göre Hız)



Görseldeki otobüsün yere göre hızı 2 m/s, otobüs içindeki yolculardan,

Y, otobüse göre durgun,

X, otobüse göre aynı yönde $\vec{v}_x$ = 1 m/s hızla,

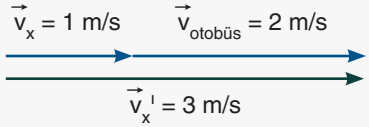
Z ise otobüse göre zıt yönde

$\vec{v}_z$ = 3 m/s hızla hareket ediyor olsun.

X, Y ve Z hareketlilerinin yere göre hızının belirlenmesi için otobüsün yere göre hızı (ya da yere göre durgun olan bir gözlemciye göre hızı) ile hareketlilerin otobüse göre hızlarının vektörel toplamı işlemi yapılır.

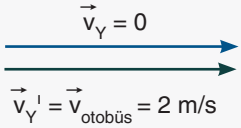
X'in yere göre hızı

$\vec{v}_x' = \vec{v}_x + \vec{v}_{otobüs}$



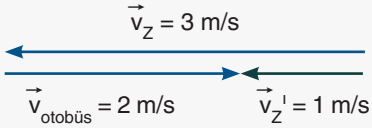
Y'nin yere göre hızı

$\vec{v}_Y' = \vec{v}_Y + \vec{v}_{otobüs}$



Z'nin yere göre hızı

$\vec{v}_Z' = \vec{v}_Z + \vec{v}_{otobüs}$



PÜF NOKTA

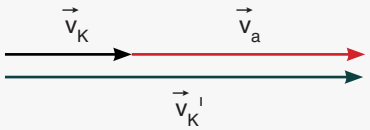
Hareketli bir gözlemci başka bir hareketliyi izlerken kendi hızına eşit olan hız bileşenini algılamaz.

Akıntı hızı $\vec{v}_a$ olan bir nehirde, K yüzücüsü akıntı yönünde suya göre $\vec{v}_K$, L yüzücüsü akıntıya ters yönde suya göre $\vec{v}_L$ hızı ile yüzmeye başlarken bir tahta parçası da suya bırakılmış olsun.

Yüzücülerin ve tahta parçasının yere göre hızının belirlenmesi için akıntı hızı ile hareketlilerin suya göre hızlarının vektörel toplamı işlemi yapılır.

K'nin yere göre hızı

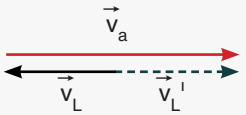
$\vec{v}_K' = \vec{v}_K + \vec{v}_a$



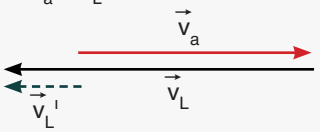
L'nin yere göre hızı

$\vec{v}_L' = \vec{v}_L + \vec{v}_a$

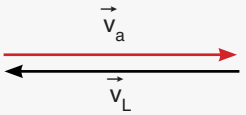
a) $v_a > v_L$ ise



b) $v_a < v_L$ ise



c) $v_a = v_L$ ise



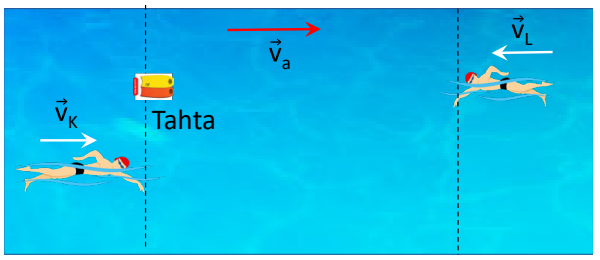
$\vec{v}_L' = 0$

Tahtanın yere göre hızı

$\vec{v}_T' = \vec{v}_T + \vec{v}_a$

$\vec{v}_T = 0$

$\vec{v}_T' = \vec{v}_a$



Yüzücülerin ve tahta parçasının nehir içinde t sürede aldıkları yollar,

K yüzücüsü için $d = (v_K + v_a) \cdot t$ akıntı yönünde

L yüzücüsü için;

$v_a > v_L$ ise $d = (v_a - v_L) \cdot t$ akıntı yönünde

$v_a < v_L$ ise $d = (v_L - v_a) \cdot t$ akıntıya ters yönde yol alırken,

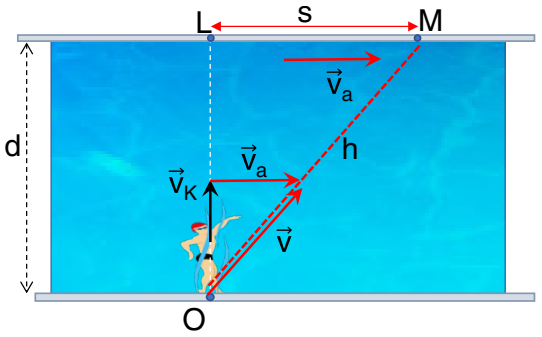
$v_a = v_L$ ise yere göre hız sıfır olur ve yer değiştirme yapamaz.

PÜF NOKTA

Yere göre hız ifadesi ile durgun bir gözlemciye göre hız ifadesi aynıdır.

PÜF NOKTA

Akıntıya bırakılan tahta parçasının yere göre hızı akıntı hızına eşit olur.



KRİTİK BİLGİ

Yüzücünün nehri geçme süresi akıntı hızının büyüklüğüne bağlı değildir.

Genişliği d, akıntı hızı $\vec{v}_a$ olan bir nehirde, O noktasından akıntıya dik olarak harekete geçen K yüzücüsünün suya göre hızı $\vec{v}_K$ olup karşı kıyıda L'den s kadar uzaklıktaki M noktasına t süre sonra ulaşmış olsun.

Olayda,

a) Yüzücünün yere (kıyıya) göre hızı $\vec{v}$, yüzücünün suya göre hızı $\vec{v}_K$ ile, akıntı hızı $\vec{v}_a$'nın vektörel toplamı ile bulunur.

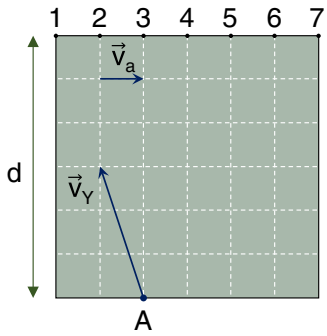
b) Yüzücünün nehirde alacağı yollar,

$OL = d = \vec{v}_K \cdot t$

$LM = s = \vec{v}_a \cdot t$

$OM = h = v \cdot t$ şeklinde yazılabilir.

Akıntı Hızının Büyüklüğünün Değişimi İle Neler Değişir?



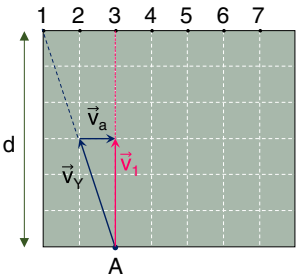
Akıntı hızı $\vec{v}_a$, nehir içindeki yüzücünün suya göre hızının $\vec{v}_Y$ olduğu nehirde akıntı hızının büyümesinin;

a) Yüzücünün yere göre hızını,

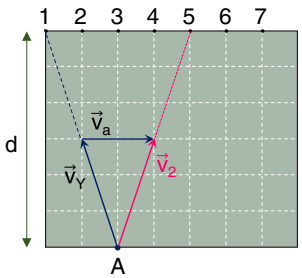
b) Yüzücünün karşı kıyıda hangi noktaya çıkacağını,

c) Yüzücünün nehri geçme süresini

nasıl etkileyeceğine bakalım.



$v_a = 1$ br iken



$v_a = 2$ br iken

	$v_a = 1$ br iken	$v_a = 2$ br iken	Değişim
a)	$v_1 = 3$ br	$v_2 = \sqrt{10}$ br	Artmıştır.
b)	Yüzücü 3 no'lu noktaya çıkar.	Yüzücü 5 no'lu noktaya çıkar.	Yatay yer değiştirme artmıştır.
c)	$t_1 = d / v_1$	$t_2 = d / v_{2y}$	Değişmez.

KRİTİK BİLGİ

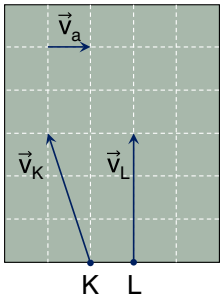
Yüzücünün nehri geçme süresi sadece nehir genişliğine ve yüzücünün hızının karşı kıyıya dik hız bileşeninin büyüklüğüne bağlıdır.

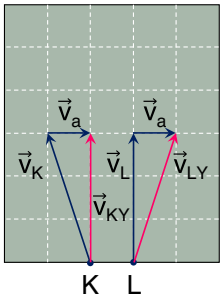
DİKKAT

$v_1 = 3$ br iken v_2 hızının da düşey bileşeni 3 br'dir.

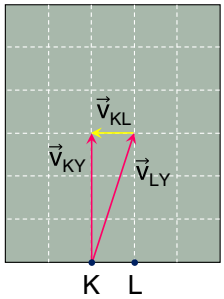
Akıntı Hızının Bağıl Hıza Etkisi

Akıntı hızının $\vec{v}_a$ olduğu nehirde K ve L noktalarından suya göre $\vec{v}_K$ ve $\vec{v}_L$ hızları ile yüzmeye başlayan yüzücülerin bağıl hızlarını bulalım.



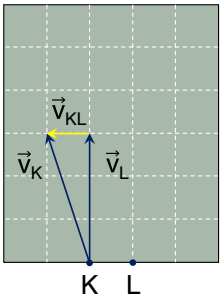


Yüzücülerin yere göre hızları



K'nin L'ye göre hızı ($\vec{v}_{KL}$)

$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{KY} - \vec{v}_{LY}$



Akıntı hızını dikkate almadan K'nin L'ye göre hızı ($\vec{v}_{KL}$)

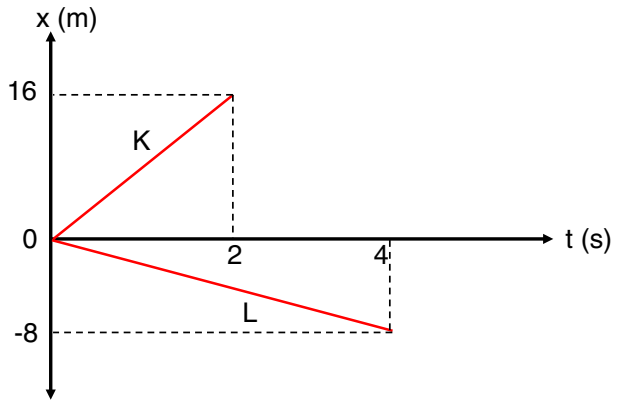
$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_K - \vec{v}_L$

DİKKAT

Nehir içindeki iki yüzücünün birbirine göre hızı (bağıl hız) akıntı hızının büyüklüğüne bağlı değildir.

Konum-Zaman Grafiğinden Faydalanarak Bağıl Hız Tanımlamak

Konum-zaman grafiği verilen, aynı doğrusal yol üzerindeki K ve L hareketlilerinin birbirine göre hızlarını bulalım.



K hareketlisi + yönde hareket etmekte olup konum-zaman grafiğinde eğim, hızı verdiği için her hareketlinin hızları aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

K ve L araçlarının hızları,

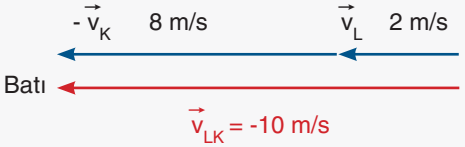
$$\vec{v}_K = \frac{16}{2} = 8 \ m/s \qquad \vec{v}_L = \frac{-8}{4} = -2 \ m/s$$

olarak bulunur.

L aracının hızının başındaki eksi işareti K aracı ile zıt yönde hareket etmesinden dolayıdır. Eğer K aracı doğu yönünde hareket ediyorsa L aracı batı yönünde hareket etmektedir.

K aracındaki gözlemciye göre L'nin hızı;

$$\vec{v}_{bağıl} = \vec{v}_{gözlenen} - \vec{v}_{gözlemci} \rightarrow \vec{v}_{LK} = \vec{v}_L - \vec{v}_K$$



NEWTON'IN HAREKET YASALARI (NET KUVVETİN HESAPLANMASI)

Net Kuvvet ($\vec{F}_{net}$)

Net kuvvet, cisimler üzerine etki eden kuvvetlerin yapacağı etkiyi tek başına yapabilen kuvvete denir. Net kuvvetin bilinmesi ile durgun bir cismin harekete geçip geçemeyeceği, hareketli bir cismin hareketini nasıl devam ettireceği de bilinmiş olur.

Net kuvveti bulmak için serbest cisim diyagramlarından yararlanılır. Serbest cisim diyagramında göstereceğimiz (net kuvveti oluşturan) kuvvetler çoğunlukla,

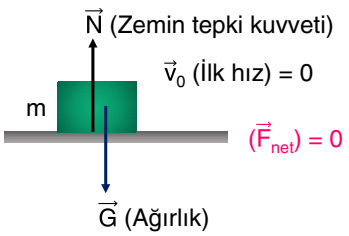
- Ağırlık,
- Sürtünme kuvveti,
- İp gerilmesi,
- Etki-tepki kuvveti
- Dış bir uygulama kuvveti (F) olacaktır.

Cisimler üzerindeki kuvvetler ve cisimlerin hareket türleri için Newton'ın hareket yasaları dikkate alınarak yorumlar yapılacaktır.

Newton'ın Hareket Yasaları	
I. Eylemsizlik ilkesi	Bir cisim ya da sistem üzerinde net kuvvet sıfır ise o cisim ya da sistem ya durur ya da ilk hızı varsa sabit süratle hareket eder.
II. Dinamiğin Temel Prensibi	Bir cisim ya da bir sistem üzerinde net kuvvet varsa o cisim ya da sistem ivmeli hareket yapar.
III. Etki-Tepki İlkesi	Bir cisimden diğer bir cisme etki olursa bu etkiye karşılık zıt yönde ve eşit şiddette bir tepki kuvveti oluşur.

Yatay Sürtünmesiz Düzlemdeki Cisim için Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

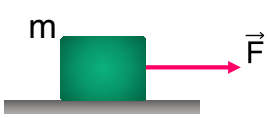
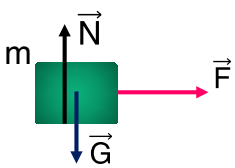
a) Yatay zemine serbest bırakılan cisim

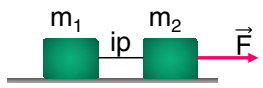
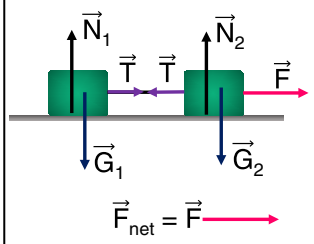
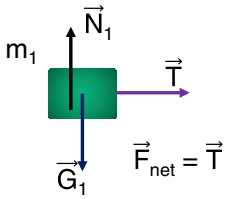
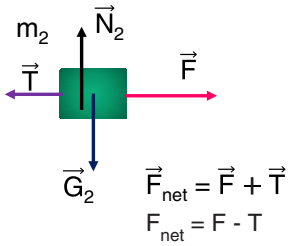


b) Yatay zeminde sabit hızla ilerleyen cisim

Sürtünmesiz yatay düzleme bırakılan ya da yatay olarak sabit hızla ilerleyen m kütleli cisim üzerinde dünyanın cisme uyguladığı yerçekimi (Ağırlık) $\vec{G}$, ve zeminden yukarı doğru normal doğrultusundaki kuvvet (zemin tepkisi) $\vec{N}$, olmak üzere iki kuvvet bulunur.

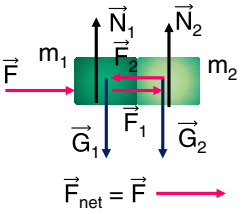
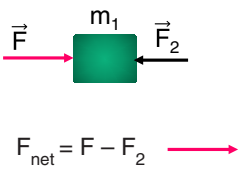
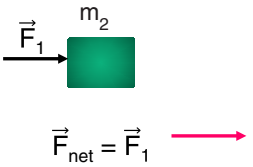
Bu iki kuvvetin büyüklüğü aynı olduğu için bileşke kuvvet ($\vec{F}_{net}$) sıfır olur.

	Serbest cisim diyagramı	Net kuvvet
		

	Sistemde serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	m_1 için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	m_2 için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet
			

Sürtünmesiz yatay düzleme bırakılan m kütleli cisim ya da cisimler üzerine yatay bir $\vec{F}$ kuvveti uygulanırsa cisim üzerinde (Ağırlık) $\vec{G}$, zeminden yukarı doğru normal doğrultusundaki kuvvetler (zemin tepkisi) $\vec{N}$, cisimler arasındaki ipte gerilme kuvvetleri ve uygulama kuvveti $\vec{F}$ bulunur.

Düşey yöndeki $\vec{N}$ ve $\vec{G}$ kuvvetlerinin büyüklüğü aynı olduğu için, düşey yönde net kuvvet sıfır olur. Cisim üzerinde bileşke kuvvet ($\vec{F}_{net}$) sadece yatay yöndeki $\vec{F}$ kuvveti olur ve cisim yatay zeminde bu kuvvet yönünde harekete geçerek hızlanır.

	Sistemde serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	m_1 için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	m_2 için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet
			

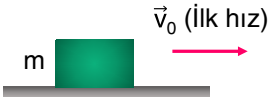
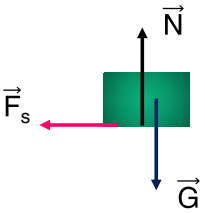
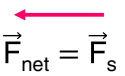
Sürtünmesiz yatay düzleme bırakılan m_1 ve m_2 kütleli cisimler üzerine yatay bir $\vec{F}$ kuvveti uygulanırsa cisimler üzerinde ağırlıklar ($\vec{G}$), zeminden yukarı doğru normal doğrultusundaki kuvvetler (zemin tepkisi) $\vec{N}$, cisimler arasındaki etki tepki kuvvetleri ($\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$) ve uygulama kuvveti $\vec{F}$ bulunur.

Düşey yöndeki $\vec{N}$ ve $\vec{G}$ kuvvetlerinin büyüklüğü aynı olduğu için, düşey yönde net kuvvet sıfır olur. Cisimler arasındaki m_1 kütleli cisimden m_2 kütleli cisme yönelik $\vec{F}_1$ etki kuvveti ile m_2 kütleli cismin m_1 kütleli cisme gösterdiği $\vec{F}_2$ tepki kuvveti de eşit büyüklükte oluşur. Sistem üzerinde bileşke kuvvet ($\vec{F}_{net}$) sadece yatay yöndeki $\vec{F}$ kuvveti olur ve cisimler yatay zeminde bu kuvvet yönünde harekete geçerek hızlanır.

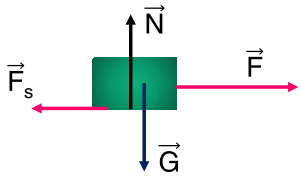
m_1 ve m_2 kütleler üzerinde serbest cisim diyagramı ve her bir cisim üzerinde net kuvvetler gösterilmiştir.

Yatay Sürtünmeli Düzlemdeki Cismin Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

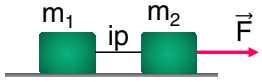
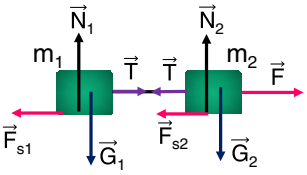
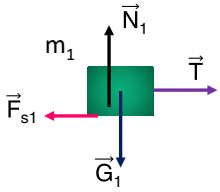
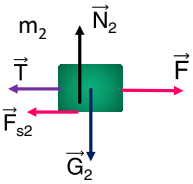
a) Sürtünmeli yatay zemine bir ilk hız verilerek atılan cisim

	Serbest cisim diyagramı	Net kuvvet
		

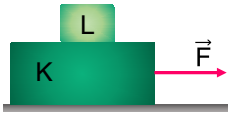
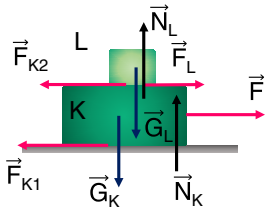
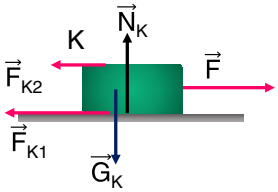
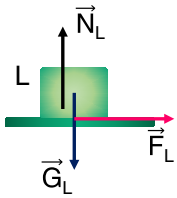
b) Sürtünmeli yatay zeminde F kuvveti ile çekilen cisim

	Serbest cisim diyagramı	Net kuvvet
		$\vec{F}_{net} = 0$ (hareket yoksa) $F_{net} = F - F_s$ (harekete geçerse)

c) Sürtünmeli yatay zeminde F kuvveti ile çekilen birbirine bağlı cisimler

	Sistemde serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	m_1 için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	m_2 için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet
	 $\vec{F}_{net} = 0$ (Sistem durgun ise) $F_{net} = F - (F_{s1} + F_{s2})$ (hareket başlarsa)	 $\vec{F}_{net} = 0$ (Sistem durgun ise) $F_{net} = T - F_{s1}$ (hareket başlarsa)	 $\vec{F}_{net} = 0$ (Sistem durgun ise) $F_{net} = F - (T + F_{s2})$ (hareket başlarsa)

d) Sürtünmeli yatay zeminde F kuvveti ile çekilen üst üste konulmuş cisimler

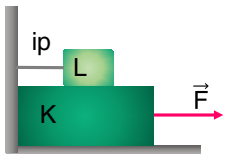
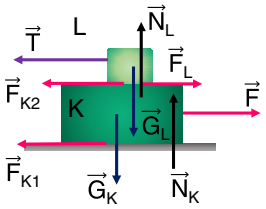
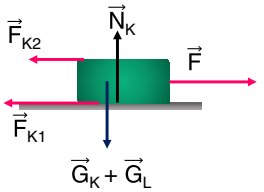
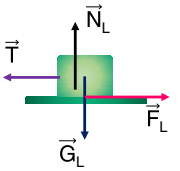
	Sistemde serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	K için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	L için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet
	K ve L birlikte $\vec{F}$ yönünde hareket ederse,  $\vec{F}_{net} = \overrightarrow{F - (F_{K1})}$	 $\vec{F}_{net} = \overrightarrow{F - (F_{K1} + F_{K2})}$	 $\vec{F}_{net} = \vec{F}_L$

$\vec{F}_{K2}$; K cismine etki eden sürtünme kuvvetidir.

$\vec{F}_L$; L cismine etki eden sürtünme kuvvetidir.

$\vec{F}_{K2}$ ve $\vec{F}_L$ etki-tepki kuvvet çifti olup birbirine eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür.

$\vec{F}_{K1}$; K cismi ile yatay zemin arasındaki sürtünme kuvvetidir.

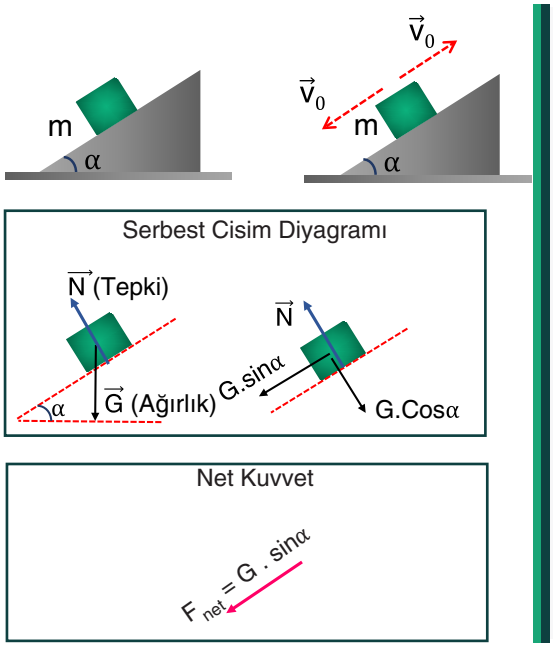
	Sistemde serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	K için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet	L için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet
 Sürtünmeli yüzeylerde	K, $\vec{F}$ yönünde hareket ederse,  $\vec{F}_{net} = F - (F_{K1} + F_{K2})$	 $\vec{F}_{net} = F - (F_{K1} + F_{K2})$	 $\vec{F}_{net} = 0$

$\vec{F}_{K2}$; K ve L arasındaki sürtünme kuvveti

$\vec{F}_{K1}$; K ile yatay düzlem arasındaki sürtünme kuvveti

Sürtünmesiz Eğik Düzlemdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

Serbest bırakılan ya da eğik düzleme paralel ilk hız verilerek atılan cisim için



a) Cismin ilk hız sıfır ise cisim $\vec{F}_{net}$ yönünde hızlanır.

b) Cismin yukarı yönlü ilk hızı varsa cisim önce yukarı yönde yavaşlar ve durur, sonra geri dönerek hızlanır.

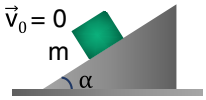
c) Cismin aşağı yönde ilk hızı varsa $\vec{F}_{net}$ yönünde hızlanır.

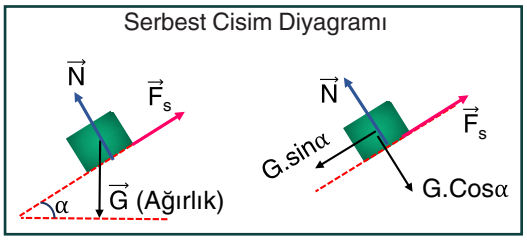
DİKKAT

Sürtünmesiz eğik düzlemdeki cisim düzleme serbest de bırakılsa, bir ilk hız verilerek de atılsa cisim üzerindeki net kuvvet değişmez, net kuvvet eğik düzleme paralel G.sinα kadardır.

Sürtünmeli Eğik Düzlemdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

a) Serbest bırakılan cisim için





Net Kuvvet

a) Cisim durgun kalırsa

$$\vec{F}_{net} = 0$$

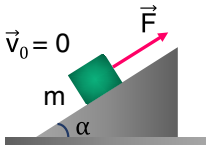
b) Cisim G.sinα yönünde harekete geçerse net kuvvet G.sinα yönünde

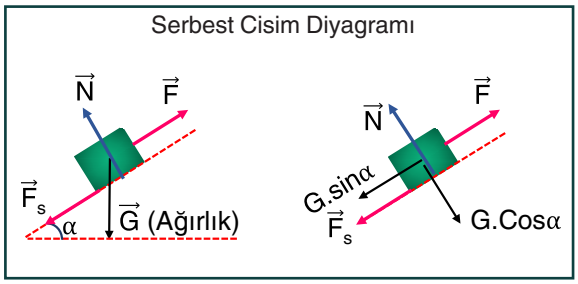
$$F_{net} = G.\sin\alpha - F_s$$

DİKKAT

Bir cisim x-y koordinat sisteminde sadece bir eksen üzerinde harekete geçiyorsa diğer eksen üzerindeki kuvvetlerin bileşkesi sıfırdır.

b) $\vec{F}$ kuvveti etkisi varsa





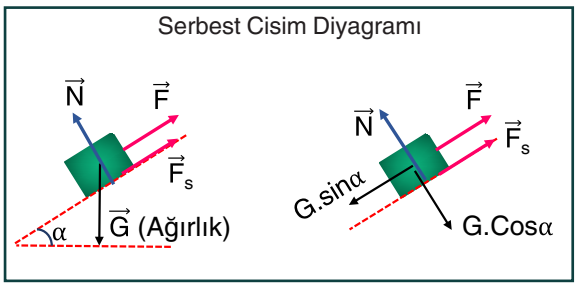
Net Kuvvet

* Cisim hareketsiz kalırsa

$$F_{net} = 0$$

* Cisim $\vec{F}$ yönünde harekete geçerse

$$F_{net} = F - (F_s + G \cdot \sin\alpha)$$



Net Kuvvet

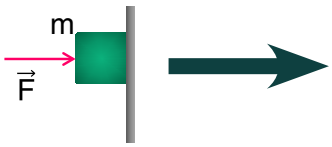
* Cisim hareketsiz kalırsa

$$F_{net} = 0$$

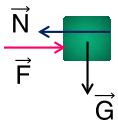
* Cisim G.sinα yönünde harekete geçerse

$$F_{net} = G \cdot \sin\alpha - (F + F_s)$$

Düşey Sürtünmesiz Düzlemdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı



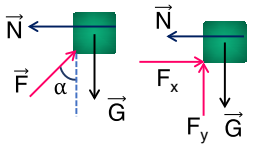
Serbest Cisim Diyagramı



Net Kuvvet

$\vec{F}_{net} = \vec{G}$

Serbest Cisim Diyagramı



$F_x = F.\sin\alpha$ $F_y = F.\cos\alpha$

Net Kuvvet

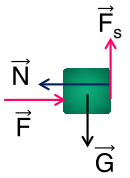
a) Cisim durgun kalırsa $\vec{F}_{net} = 0$

b) Cisim yukarı yönde harekete geçerse ↑ $F_{net} = F_y - G$

c) Cisim aşağı yönde harekete geçerse ↓ $F_{net} = G - F_y$

Düşey Sürtünmeli Düzlemdeki Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

Serbest Cisim Diyagramı

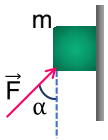


Net Kuvvet

a) Cisim durgun kalırsa $\vec{F}_{net} = 0$

b) Cisim aşağı yönde harekete geçerse

$\vec{F}_{net}$ ↓ $F_{net} = G - F_s$

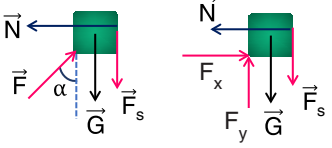


$F_x = F.\sin\alpha$

$F_y = F.\cos\alpha$

Serbest Cisim Diyagramı

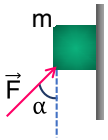
Cisim yukarı yönde harekete geçerse;



Net Kuvvet

↑ $\vec{F}_{net}$

$F_{net} = F_y - (G + F_s)$

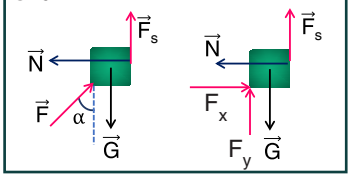


$F_x = F.\sin\alpha$

$F_y = F.\cos\alpha$

Serbest Cisim Diyagramı

Cisim aşağı yönde harekete geçerse;



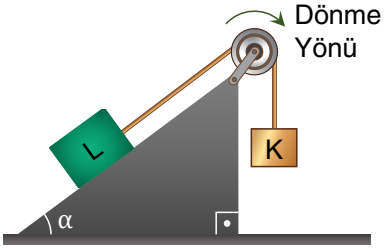
Net Kuvvet

↓ $\vec{F}_{net}$

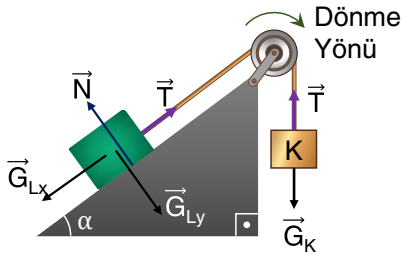
$F_{net} = G - (F_y + F_s)$

Sistemlerde Serbest Cisim Diyagramı ve Net Kuvvet Hesabı

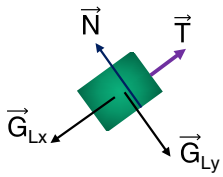
Sistem sürtünmesiz ise



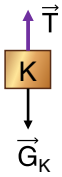
Sistemde serbest cisim diyagramı ve net kuvvet



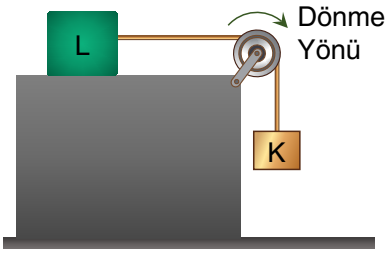
L için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet



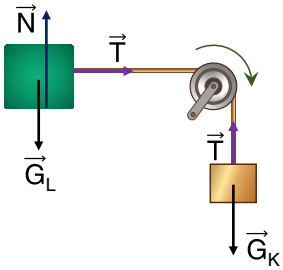
K için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet



Sistem sürtünmesiz ise

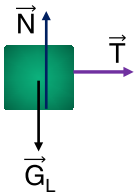


Sistemde serbest cisim diyagramı ve net kuvvet



$F_{net} = G_K$
($\vec{G}_K$ yönünde) ↓

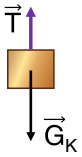
L için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet



→

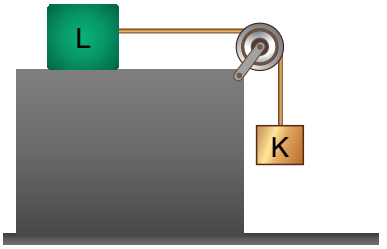
$F_{net} = T$
($\vec{T}$ yönünde)

K için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet

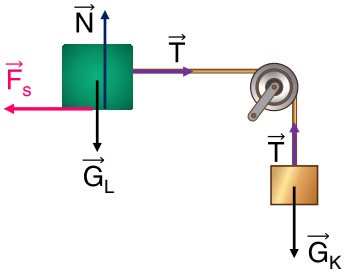


$F_{net} = G_K - T$
($\vec{G}_K$ yönünde) ↓

Yatay düzlem sürtünmeli olup sistem serbest bırakılınca



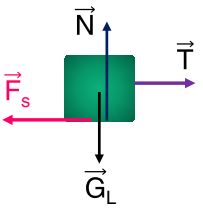
Sistemde serbest cisim diyagramı ve net kuvvet



* Hareket yoksa $\vec{F}_{net} = 0$
* $\vec{G}_K$ yönünde hareket başlarsa

$F_{net} = G_K - F_s$
($\vec{G}_K$ yönünde) ↓

L için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet

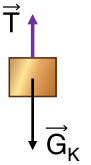


* L cismi durgun ise $\vec{F}_{net} = 0$
* L cismi, $\vec{T}$ yönünde harekete geçerse

→

$F_{net} = T - F_s$
($\vec{T}$ yönünde)

K için serbest cisim diyagramı ve net kuvvet

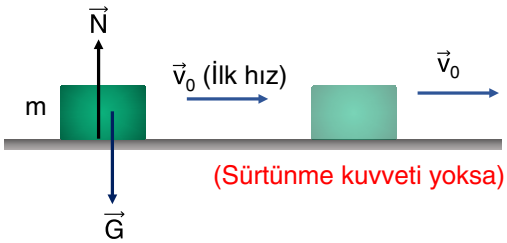


* K cismi durgun ise $\vec{F}_{net} = 0$
* K cismi, $\vec{G}_K$ yönünde harekete geçerse

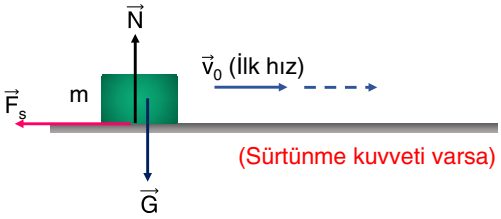
$F_{net} = G_K - T$
($\vec{G}_K$ yönünde) ↓

NEWTON'IN HAREKET YASALARI (NET KUVVET ETKİSİNDEKİ CİSMİN HAREKETİ)

YATAY DÜZLEMDEKİ CİSİMLER ÜZERİNDE NET KUVVET ETKİSİ



$\vec{v}_0$ ilk hızı verilerek yatay zemine atılan m kütleli cisim üzerinde dünyanın cisme uyguladığı yerçekimi (Ağırlık) $\vec{G}$ ve zeminden yukarı doğru normal doğrultusundaki kuvvet (zemin tepkisi) $\vec{N}$, olmak üzere iki kuvvet zıt yönde eşit büyüklükte olduğu için bileşke kuvvet ($\vec{F}_{net}$) sıfır olur cisim sabit hızlı hareket yapar.



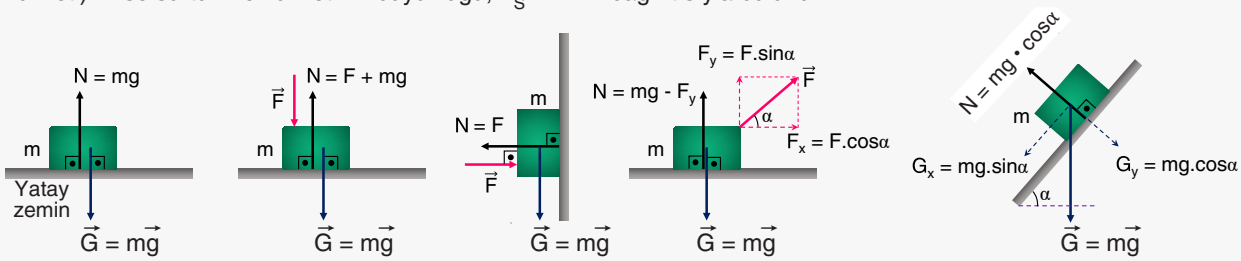
Cisimle zemin arasında $\vec{F}_s$ sürtünme kuvveti varsa hareket yönüne ters yönde oluşan bu kuvvet cisim üzerinde net kuvvet oluşturur ve cisim yatay zeminde sabit ivmeli hareket yaparak yavaşlar ve durur. Cismin yavaşlama ivmesi,

$\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a}$

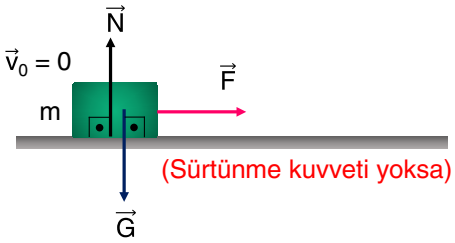
$\vec{F}_s = m \cdot \vec{a}$ denklemi ile bulunur.

KRİTİK BİLGİ

Yüzeyin cinsine bağlı olarak değişen sürtünme katsayısı k ve yüzeyin cisme uyguladığı normal kuvvet (ya da tepki kuvveti) N ise sürtünme kuvvetinin büyüklüğü, $F_S = k \cdot N$ bağıntısıyla bulunur.

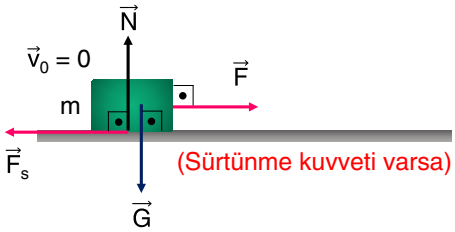


- Bazı düzlemlerde normal doğrultusundaki yüzeyden cisme etkiyen kuvvetlerin $\vec{N}$ (Yüzey tepkisi) gösterimi -



İlk hızı $\vec{v}_0 = 0$ olan cisim sürtünmesiz yatay düzlemde dış bir $\vec{F}$ kuvveti etkisi altında kalırsa cisim bu $\vec{F}$ net kuvveti etkisi altında harekete geçerek hızını düzgün bir şekilde artırır. Cismin kazanacağı ivmenin büyüklüğü;

$$\left.\begin{array}{l} F_{net} = m \cdot a \\ F = m \cdot a \end{array}\right\} \quad a = \frac{F}{m} \text{ ile bulunur.}$$



a) Cisim harekete geçmezse $\vec{F}_{s(statik)} = -\vec{F}$ olup $\vec{F}_{net} = 0$ olur.

b) $F > F_{s(statik)}$ ise cisim harekete geçer ve hızlanır.

Harekete geçtikten sonra cismin ivmesinin büyüklüğü,

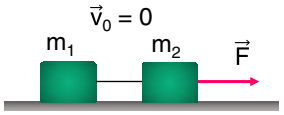
$$\left.\begin{array}{l} F_{net} = m \cdot a \\ F - F_{s(kinetik)} = m \cdot a \end{array}\right\} \quad a = \frac{F - F_{s(kinetik)}}{m} \text{ ile bulunur.}$$

KRİTİK BİLGİ

Sürtünmeli yatay düzlem üzerinde hareketsiz duran cismi hareket ettirebilmek için uygulanması gereken F kuvvetinin, $F_{s(statik)}$ statik sürtünme kuvvetinin maksimum değerinden daha büyük olması gerekir. F uygulama kuvveti statik sürtünme kuvvetini yendiği anda cisim kuvvet yönünde hareket eder. Cisim harekete geçtikten sonra cisme $F_{s(kinetik)}$ sürtünme kuvveti etki eder.

Genellikle statik sürtünme katsayısı $k_{statik} > k_{kinetik}$ olduğu için $F_{s(statik)} > F_{s(kinetik)}$ olur. (Cisimleri durgun halden harekete geçirmenin zorluğu da bu nedenledir.)

YATAY DÜZLEMDEKİ CİSİMLER ÜZERİNDE NET KUVVET ETKİSİ

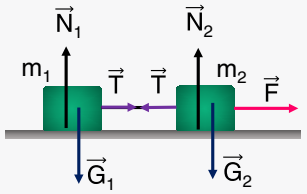


(Sürtünme kuvveti yoksa)

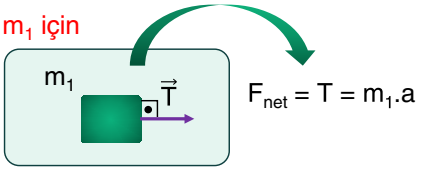
$$F_{net} = F = (m_1 + m_2) \cdot a$$

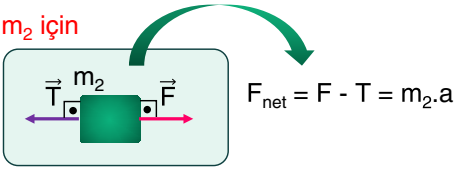
$$a = \frac{F}{m_1 + m_2} \text{ ile bulunur.}$$

HATIRLAYALIM

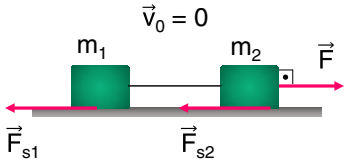


Serbest cisim diyagramına bakılırsa net kuvvetin sadece $\vec{F}$ kuvveti olduğu görülür.





Cisimler arasındaki ipte oluşan gerilme kuvveti cisimlerden birinin kısmi incelemesi ile bulunabilir.



(Sürtünme kuvveti varsa)

Cisimler $\vec{F}$ kuvveti yönünde harekete geçiyorsa,

$$F_{net} = F - (F_{s1} + F_{s2}) = (m_1 + m_2) \cdot a$$

$$a = \frac{F - (F_{s1} + F_{s2})}{m_1 + m_2} \text{ ile bulunur.}$$

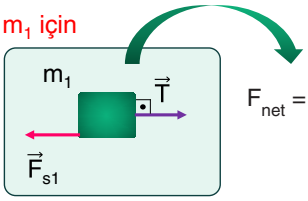
HATIRLAYALIM

Sürtünme kuvvetleri

$$F_{s1} = k \cdot m_1 \cdot g$$

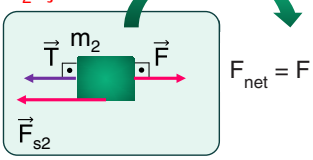
$$F_{s2} = k \cdot m_2 \cdot g$$

m_1 için



$F_{net} = T - F_{s1} = m_1 \cdot a$

m_2 için



$F_{net} = F - (T + F_{s2}) = m_2 \cdot a$

Cisimler arasındaki ipte oluşan gerilme kuvveti cisimlerden birinin kısmi incelemesi ile bulunabilir.

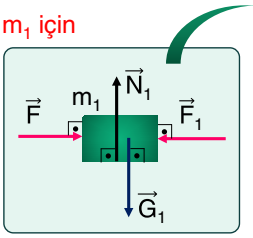
(Sürtünme kuvveti yoksa)

Cisimler $\vec{F}$ kuvveti yönünde harekete geçer ve hızlanırlar, cisimlerin ivmesinin büyüklüğü,

$F_{net} = F = (m_1 + m_2) \cdot a$

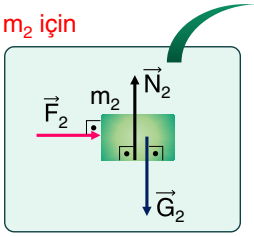
$a = \dfrac{F}{m_1 + m_2}$ ile bulunur.

m_1 için



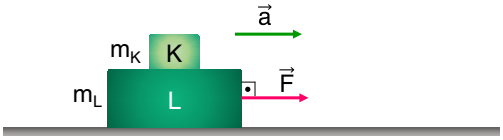
$F_{net} = F - F_1 = m_1.a$

m_2 için



$F_{net} = F_2 = m_2.a$

Cisimler arasındaki etkileşme kuvvetleri (m_1'den m_2'ye etki eden F_2 ve m_2'den m_1'e etki eden tepki F_1) kısmi incelemelerle bulunabilir.

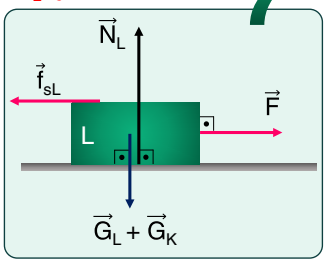


(Sadece cisimler arası sürtünme kuvveti varsa)

K cismi L cismi üzerinden düşmeden birlikte hareket ederse, sistemdeki cisimlerin ivmesinin büyüklüğü,

$$\left.\begin{aligned} F_{net} &= m \cdot a \\ F &= (m_K + m_L) \cdot a \end{aligned}\right\} \quad a = \frac{F}{m_K + m_L} \text{ ile bulunur.}$$

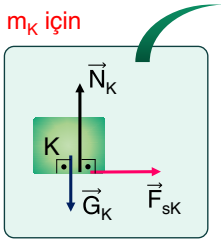
m_L için



$F_{net} = m.a$

$F - f_{sL} = (m_L).a$

m_K için

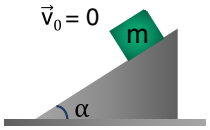


$F_{net} = m.a$

$f_{sK} = (m_K).a$

K ve L cisimleri üzerinde kısmi incelemeler yapıp Newton'ın temel yasası uygulanabilir.

EĞİK DÜZLEMDEKİ CİSİMLER ÜZERİNDE NET KUVVET ETKİSİ

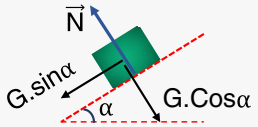


(Sürtünme kuvveti yoksa)

Sürtünmesiz eğik düzleme bırakılan cisim üzerinde net kuvvet m.g.sinα olup bu kuvvet etkisinde hızlanırken cismin kazanacağı ivme,

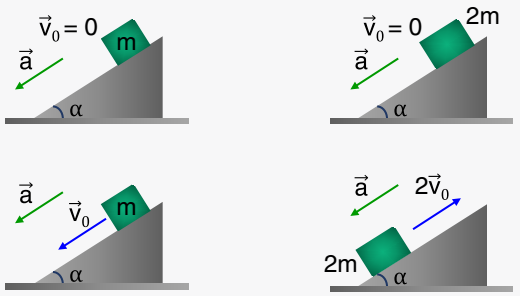
$$\left.\begin{array}{l} F_{net} = m \cdot a \\ mg\sin\alpha = m \cdot a \end{array}\right\} \quad a = \frac{F_{net}}{m} = \frac{mg\sin\alpha}{m} = g\sin\alpha \text{ ile bulunur.}$$

HATIRLAYALIM



$F_{net} = mg.\sin\alpha$

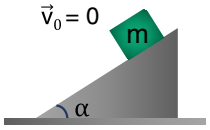
DİKKAT



Sürtünmesiz eğik düzleme bırakılan ya da eğik düzleme paralel bir ilk hız verilerek atılan cismin ivmesi, kütle miktarına, ilk hızın yön ve büyüklüğüne bağlı değildir.

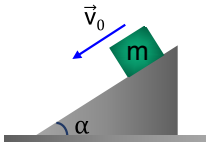
Bu nedenle görseldeki bütün cisimlerin ivmesi eşit ve a = g • sinα kadardır.

Cisim eğik düzleme serbest bırakılınca ya da aşağı yönde ilk hız verilerek harekete geçirilince,



(Sürtünme kuvveti varsa)

* Sistem durgun kalırsa $F_{net} = 0$,



(Sürtünme kuvveti varsa)

* Cisim aşağı yönde hızlanırsa,

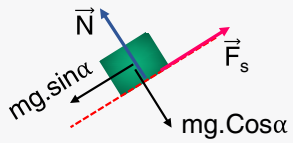
$F_{net} = m \cdot a$

$mg.\sin\alpha - F_s = m \cdot a$

$mg \cdot \sin\alpha - k \cdot mg \cdot \cos\alpha = m \cdot a$

$a = g \cdot (\sin\alpha - k \cdot \cos\alpha)$

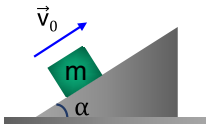
HATIRLAYALIM



$F_{net} = mg.\sin\alpha - F_s$

Sistem üzerindeki serbest cisim diyagramı

Cisim eğik düzleme paralel yukarı yönde ilk hız verilerek harekete geçirilince,



(Sürtünme kuvveti varsa)

Cisim yukarı ilk hız verilerek atılırsa,

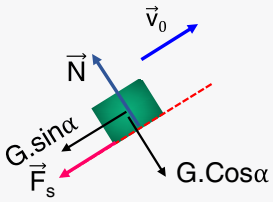
$F_{net} = m \cdot a$

$mg.\sin\alpha + F_s = m \cdot a$

$mg \cdot \sin\alpha + k \cdot mg \cdot \cos\alpha = m \cdot a$

$a = g \cdot (\sin\alpha + k \cdot \cos\alpha)$

HATIRLAYALIM

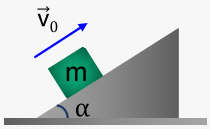


Eğik düzlemde sürtünme kuvveti,

$F_s = k \cdot N = k \cdot mg \cdot \cos\alpha$

$F_{net} = mg \cdot \sin\alpha + F_s$

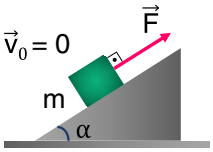
KRİTİK BİLGİ



Cisim yukarı ilk hız verilerek atılırsa, cismin ivmesi;

a) Sürtünme kuvveti yoksa yukarı yönde yavaşlarken, durup geriye doğru hızlanırken aynı $a = g.\sin\alpha$ ivmesi ile hareket eder. (Bu durumda cismin eğik düzlemde çıkış süresi iniş süresine eşittir.)

b) Sürtünme kuvveti varsa cisim yukarı çıkarken daha büyük ivme ile yavaşlar, durur ve geri gelebiliyorsa çıkış ivmesinden daha küçük bir ivme ile hızlanır. (Bu durumda cismin çıkış süresi küçük, iniş süresi büyük olur.)



Sürtünmesiz eğik düzleme bırakılan cisim $\vec{F}$ kuvveti etkisinde iken cismin ivmesi,

a) Cisim durgun ise $F_{net} = 0$

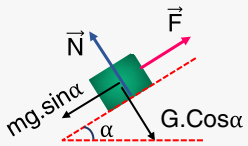
b) Cisim aşağı doğru hızlanıyorsa,

$$F_{net} = mg\sin\alpha - F \quad \text{ve ivme} \quad a = \frac{mg\sin\alpha - F}{m}$$

c) Cisim yukarı doğru hızlanıyorsa,

$$F_{net} = F - mg\sin\alpha \quad \text{ve ivme} \quad a = \frac{F - mg\sin\alpha}{m}$$

HATIRLAYALIM



Cismin hareket yönüne göre;

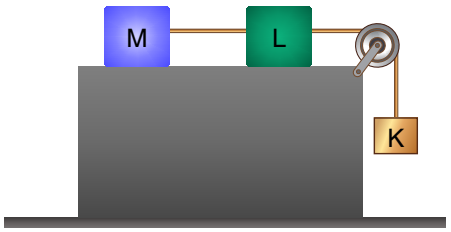
$F_{net} = 0$

$F_{net} = mg\sin\alpha - F$ (Aşağı yönde)

$F_{net} = F - mg\sin\alpha$ (Yukarı yönde)

olabilir.

SİSTEMLER ÜZERİNDEKİ CİSİMLERİN NET KUVVET HESABI



Sürtünme kuvveti yok

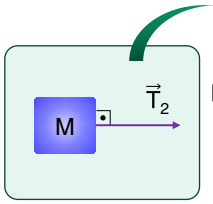
Sistem serbest bırakıldığında K cismi aşağı, L ve M cisimleri yatay yönde aynı ivme ile hızlanırlar.

$F_{net} = G_K$

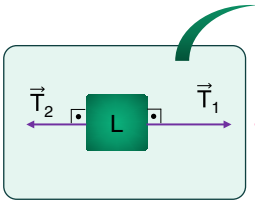
$$a = \frac{F_{net}}{m_{toplam}} = \frac{G_K}{m_K + m_L + m_M}$$

ile bulunur.

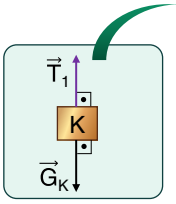
İplerde oluşan gerilme kuvvetlerinin hesaplanabilmesi için cisimler kısmi incelemeye alınabilir.



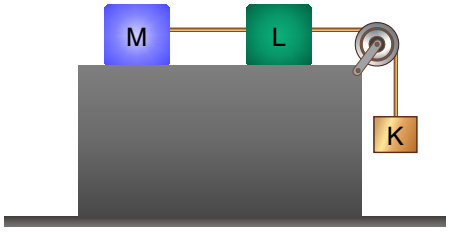
$F_{net} = T_2 = m_M.a$



$F_{net} = T_1 - T_2 = m_L.a$



$F_{net} = G_K - T_1 = m_K.a$



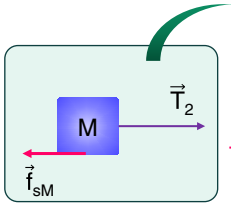
Sürtünme kuvveti var

K cismi aşağı, L ve M cisimleri yatay yönde aynı ivme ile hızlanıyor ise,

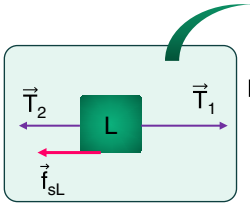
$F_{net} = G_K - (f_{sM} + f_{sL})$

$$a = \frac{F_{net}}{m_{toplam}} = \frac{G_K - (f_{sM} + f_{sL})}{m_K + m_L + m_M}$$

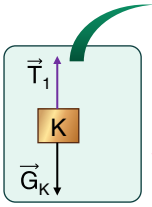
ile bulunur.



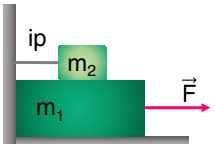
$F_{net} = T_2 - f_{sM}$
$= m_M.a$



$F_{net} = T_1 - (T_2 + f_{sL})$
$= m_L.a$



$F_{net} = G_K - T_1$
$= m_K \cdot a$

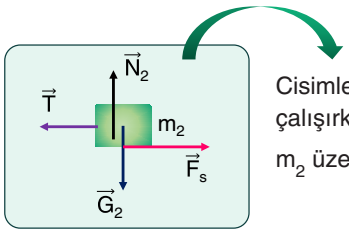


Sürtünme kuvveti sadece cisimler arasında varsa

m_1 kütleli cisim F kuvveti etkisinde yatay yönde hızlanıyor ise bu cismin ivmesinin büyüklüğü,

$F_{net} = F - F_s$

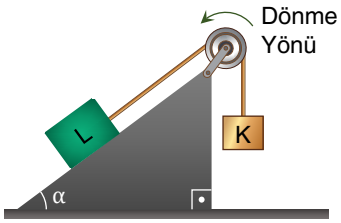
$$a = \frac{F_{net}}{m_1} = \frac{F - F_s}{m_1}$$ ile bulunur.



Cisimler arasındaki sürtünme kuvveti $\vec{F}_s$, m_2 kütleli cismin yatay yönde hareketini sağlamaya çalışırken m_2 kütleli cisim ipteki gerilme nedeniyle durgun kalır.

m_2 üzerinde $\vec{F}_{net} = 0$

$\vec{T} = -\vec{F}_s$



(Sürtünme kuvveti sadece eğik düzlemde varsa)

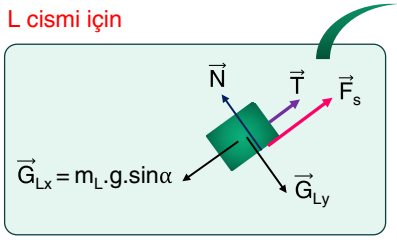
Sistem serbest bırakılınca L cismi eğik düzlemde aşağı, K cismi ise yukarı yönde harekete geçip hızlanıyorsa bu cisimlerin ivmesinin büyüklüğü,

$F_{net} = m_L \cdot g \cdot \sin\alpha - (F_s + m_K \cdot g)$

$a = \dfrac{m_L \cdot g \cdot \sin\alpha - (F_s + m_K \cdot g)}{m_K + m_L}$ ile bulunur.

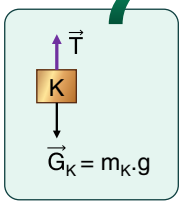
İplerde oluşan gerilme kuvvetinin hesaplanabilmesi için m_1 kütlesi üzerinde kısmi inceleme yapılabilir.

L cismi için

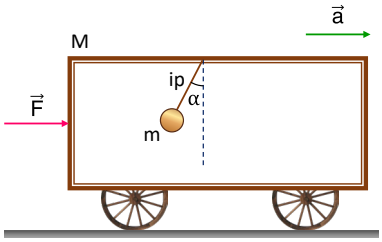


$F_{net} = m_L.g.\sin\alpha - (F_s + T)$
$= m_L.a$

K cismi için



$F_{net} = T - m_K . g$
$= m_K . a$



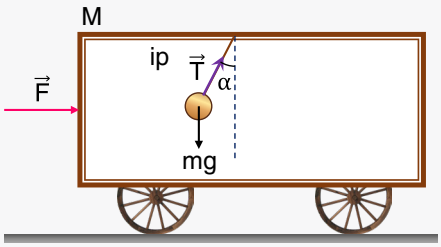
Sürtünme kuvvetleri önemsiz

Yatay düzlemdeki durgun M kütleli vagona F dış bir kuvveti uygulandığında m kütleli ipe bağlı bir m kütlesinin incelemesini yapalım. Sistem üzerinde net kuvvet $\vec{F}$ kuvvetidir.

Vagonun hızlanma ivmesinin büyüklüğü,

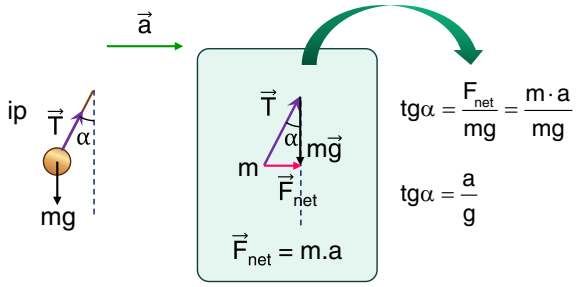
$a = \dfrac{F_{net}}{m_{toplam}} = \dfrac{F}{M + m}$ ile bulunur.

HATIRLAYALIM

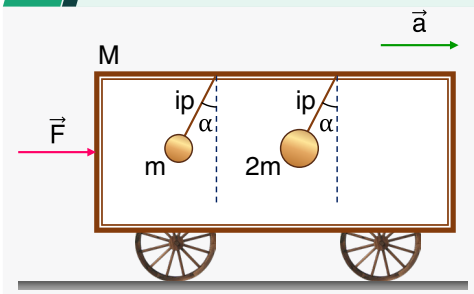


Sistem üzerindeki serbest cisim diyagramı

Vagon içindeki m kütleli cismin düşeyle yaptığı açının nelere bağlı olduğunu görelim. Bunun için m kütleli cisim üzerindeki kuvvetleri inceleyelim.



DİKKAT



Vagonun tavanına bağlı cisimlerin düşeyle yaptığı açı cismin kütlesine bağlı olmayıp, sadece vagonun ivme büyüklüğüne ve ortamdaki yerçekimi ivmesine bağlıdır.

BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKET

Newton'ın hareket yasalarına göre bir cisim üzerinde net kuvvet sabit ise cismin sahip olacağı ivme de sabittir. Hareket eden bir cisim hızının artması, azalması ya da yönünün değişmesi, onun ivmeli hareket yaptığını gösterir.

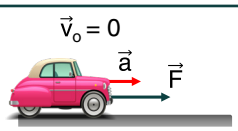
BİR BOYUTTA SABİT İVMELİ HAREKETİN ÖZELLİKLERİ

Doğrusal bir yolda hızı düzgün olarak artan ya da düzgün olarak azalan cisimlerin yapmış olduğu harekete **bir boyutta sabit ivmeli hareket** denir.

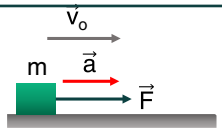
a) Hızı düzgün artan hareketli

Duran bir cisme ya da hareket halindeki bir cisme hareket yönü ile aynı yönde bir sabit net kuvvet uygulandığında cismin hızı düzgün olarak artar.

Cismin hızının düzgün bir şekilde arttığı bu durumdaki harekete **düzgün hızlanan doğrusal hareket** denir.



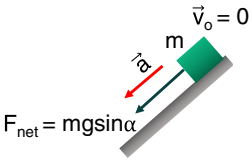
Durgun halde iken $\vec{F}_{net}$ kuvveti etkisinde kalan araba



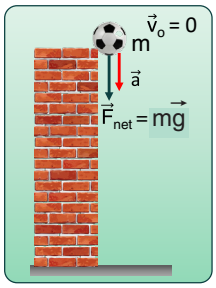
İlk hızı $\vec{v}_0$ iken hareket yönünde $\vec{F}$ net kuvveti etkisinde kalan cisim

DİKKAT

Düzgün hızlanan cisimler üzerinde net kuvvet, ivme ve hız vektörleri aynı yöndedir.



Sürtünmesiz eğik düzleme bırakılan cisim

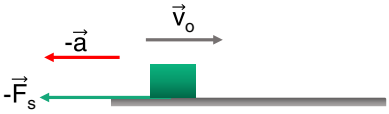


Sürtünmesiz ortamda yerden yüksek bir noktadan serbest bırakılan cisim

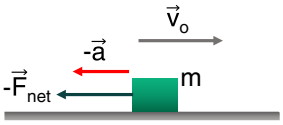
b) Hızı düzgün azalan hareketli

Hareket halindeki bir cisme hareket yönüne zıt yönde bir sabit net kuvvet uygulandığında hız düzgün olarak azalır.

Cismin hızının düzgün bir şekilde azaldığı bu durumdaki harekete **düzgün yavaşlayan doğrusal hareket** denir.



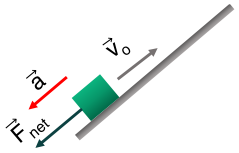
Sürtünmeli yatay düzleme $\vec{v}_o$ ilk hızı verilerek atılan cisim $\vec{F}_s$ sürtünme kuvveti etkisiyle yavaşlar ve durur.



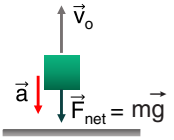
Yatay düzleme $\vec{v}_o$ ilk hızı verilerek atılan cisim hareket yönüne ters yönde uygulanan $\vec{F}_{net}$ kuvvet etkisiyle yavaşlar ve durur.

DİKKAT

Hareket yönü pozitif olup hareketlinin hızı azalıyorsa hem kuvvet hem de ivme negatif yönde olur.



Sürtünmesiz eğik düzlemin alt ucundan $\vec{v}_o$ ilk hızı verilerek harekete geçirilen cisim hareket yönüne ters $F_{net} = mg\sin\alpha$ kuvveti etkisiyle yavaşlar.



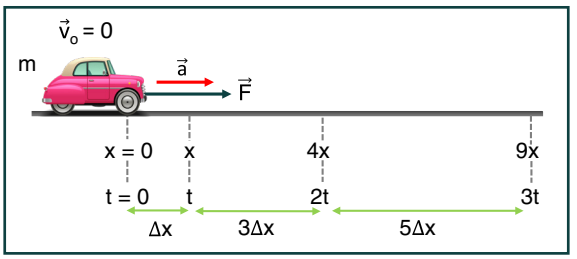
Sürtünmesiz ortamda yerden yukarı doğru $\vec{v}_o$ ilk hızı verilerek harekete geçirilen cisim $\vec{F}_{net} = m\vec{g}$ net kuvveti etkisiyle düzgün yavaşlar.

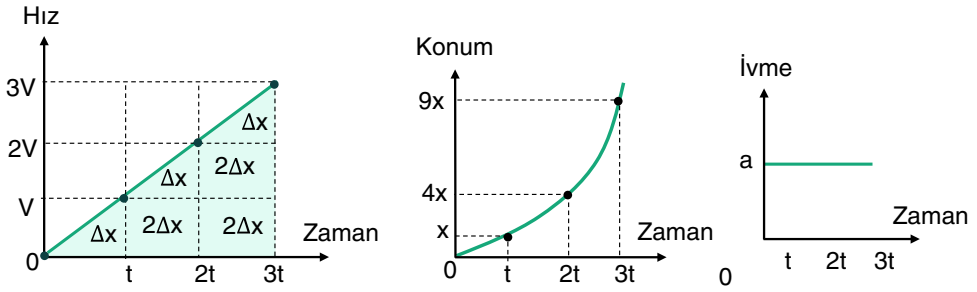
DİKKAT

Düzgün yavaşlayan cisimler üzerinde net kuvvet ile ivme vektörleri, hız vektörlerine göre ters yöndedir.

Bir Boyutta Sabit İvmeli Hareket Grafikleri ve Hesaplamaları

a) Durgun halden pozitif (+) yönde düzgün hızlanma





Hız-zaman grafiğinden,

1. Hareketlinin hızının düzgün arttığı,

2. Grafiğin zaman ekseni ile arasında kalan alanlardan hareketlinin yer değiştirme miktarları,

3. Grafiğin eğiminin sabit olması ile hareketlinin ivmesinin sabit olduğu bilgilerine ulaşılabilir.

Cismin hızlanma ivmesi,

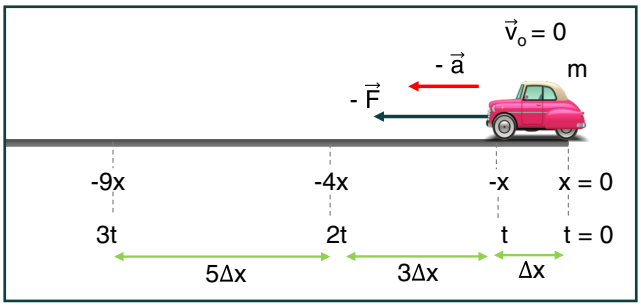
a) Newton'ın hareket yasasından;

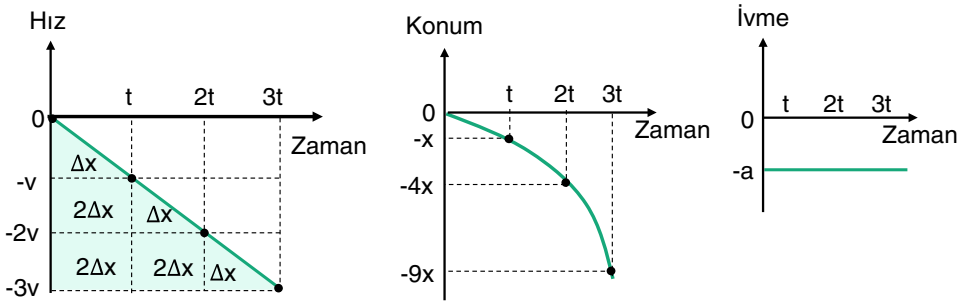
$a = \dfrac{F}{m}$ bağıntısı ile,

b) Hız zaman grafiğinin eğiminden,

$a = \dfrac{\Delta v}{\Delta t} = \dfrac{v_{son} - v_{ilk}}{t_{son} - t_{ilk}}$ bağıntısı ile bulunabilir.

b) Durgun halden negatif (-) yönde düzgün hızlanma





Düzgün hızlanan bir hareketli için,

1. t sürede aldığı yol

$$x = \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad \text{veya} \quad x = v_{ort} \cdot t$$

2. t süre sonra hızın büyüklüğü,

$$v_{(t)} = a \cdot t$$

3. Zamansız hız bağıntısı

$$v_{son}^{\ 2} = v_0^{\ 2} + 2 \cdot a \cdot x$$

bağıntılarıyla bulunabilir.

DİKKAT

Pozitif yönde hızlanan bir hareketlinin ivmesi + işaretli iken negatif yönde hızlanan bir hareketlinin ivmesi - işaretlidir.

İlk hızı v_o olan ve düzgün hızlanan bir hareketli için,

1. t sürede aldığı yol

$$x = v_o \cdot t + \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad \text{veya} \quad x = v_{ort} \cdot t$$

2. t süre sonra hızın büyüklüğü,

$$v_{(t)} = v_o + a \cdot t$$

3. Zamansız son hız değeri,

$$v_{son}^{\ 2} = v_0^{\ 2} + 2 \cdot a \cdot x$$

bağıntılarıyla bulunabilir.

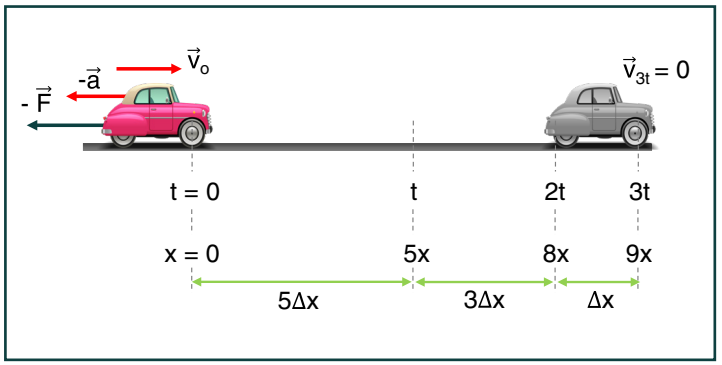
Hızlanan hareketlilerin t sürede aldığı yol ve t süre sonraki hız değerlerinin hesaplanmasında bağıntıları kullanırken hem ilk hız, hem de ivme işaretleri pozitif olarak kullanılabilir.

Ortalama hız (Vort) ile işlem yapılacaksa,

$$v_{ort} = \frac{v_{ilk} + v_{son}}{2}$$

aritmetik ortalama bağıntısıyla bulunur.

a) Pozitif yönde (+), hızı düzgün azalan hareketli



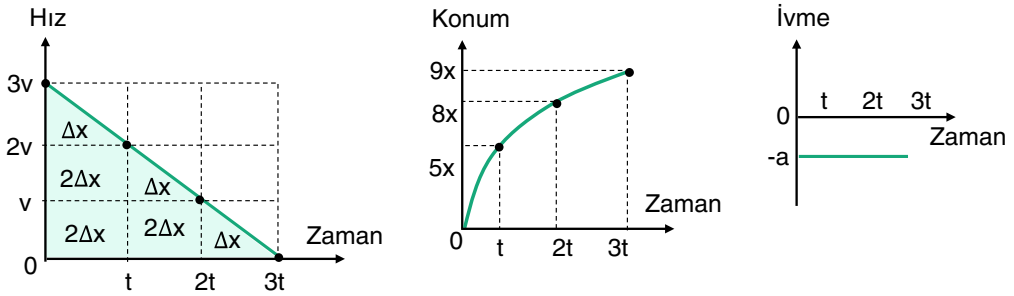
KRİTİK BİLGİ

Düzgün yavaşlayan ve son hızı sıfır olan hareketlinin eşit sürelerde aldığı yollar arasında,

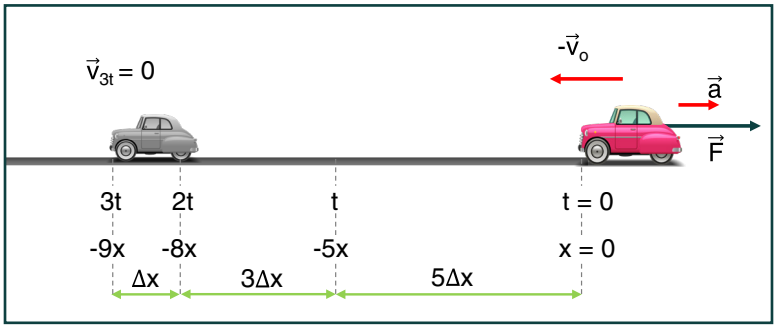
a) Hareket süresi iki eşit zamana bölünürse alınan yollar sırasıyla 3x, x;

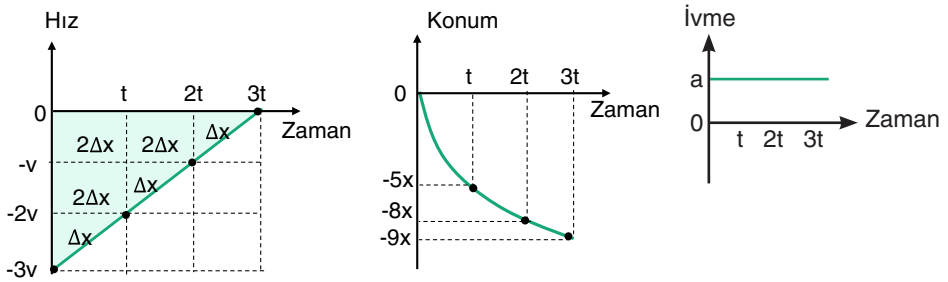
b) Hareket süresi üç eşit zamana bölünürse alınan yollar sırasıyla 5x, 3x, x;

c) Hareket süresi dört eşit zamana bölünürse alınan yollar sırasıyla önce 7x, 5x, 3x, x ilişkisi vardır.



a) Negatif yönde (-) hızı düzgün azalan hareketli





İlk hızı v_o olan ve düzgün yavaşlayan bir hareketli için,

1. t sürede aldığı yol

$$x = v_o \cdot t - \frac{1}{2} a \cdot t^2 \quad \text{veya} \quad x = v_{ort} \cdot t$$

2. t süre sonra hızın büyüklüğü,

$$v_{(t)} = v_o - a \cdot t$$

3. Zamansız son hız değeri,

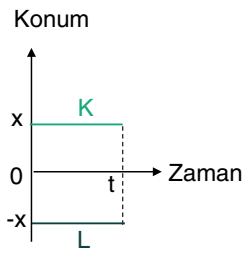
$$v_{son}^2 = v_0^2 - 2 \cdot a \cdot x$$

bağıntılarıyla bulunabilir.

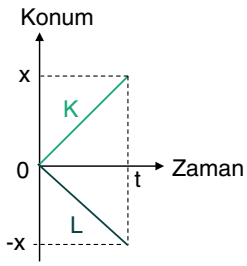
Yavaşlayan hareketlilerin t sürede aldığı yol ve t süre sonraki hız değerlerinin hesaplanmasında bağıntıları kullanırken hem ilk hız, hem de ivme işaretleri pozitif olarak kullanılabilir.

Grafiklerden Faydalanma

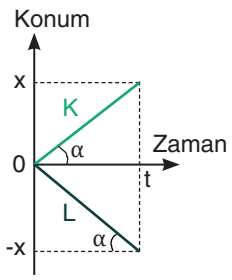
a) Konum-zaman grafiği:



K aracı +x konumunda, L aracı ise –x konumunda durgun haldedir. Hem hızı hem de ivmesi sıfırdır.



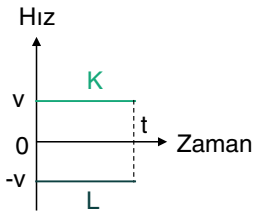
K ve L araçlarında konum, zamanla düzgün değiştiği için K aracı pozitif (+), L aracı ise negatif (–) yönde sabit hızlıdır.

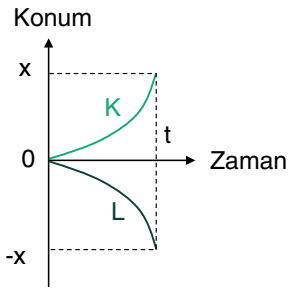


Konum-zaman grafiklerinin eğimi hareketlinin hızının hem büyüklüğünü hem de hızın işaretini verir.

*K aracı için grafik eğimi pozitif, sabit ve büyüklüğü tgα = x/t (hareket pozitif yönde)

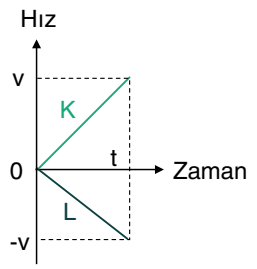
*L aracı için grafik eğimi negatif ve büyüklüğü tgα = -x/t (hareket negatif yönde)



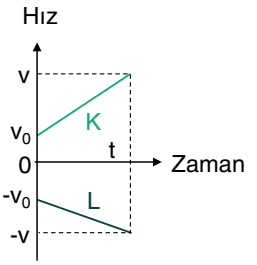


* K ve L araçlarının parabol şeklindeki kolları konum eksenine doğru eğildiği için hareketlilerin hızının arttığı anlaşılır. K aracı sıfır konumdan +x gibi bir konuma gittiği için hareket pozitif yöndedir.

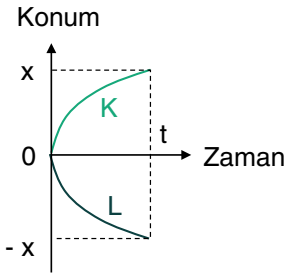
L aracı ise sıfır konumdan bir –x konumuna gittiği için hareket yönü negatiftir.



* K ve L araçlarının İlk hızları sıfır olup hızının düzgün değiştiği kabul edilirse,

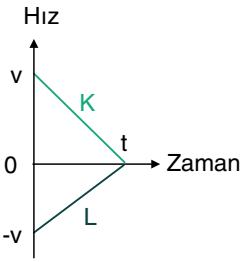


* K ve L araçlarının bir ilk hızı (v_0) olup hızının düzgün değiştiği kabul edilirse,



* K ve L araçlarının parabol şeklindeki kolları zaman eksenine doğru eğildiği için hareketlilerin hızının azaldığı anlaşılır. K aracı sıfır konumdan +x gibi bir konuma gittiği için hareketi pozitif yöndedir.

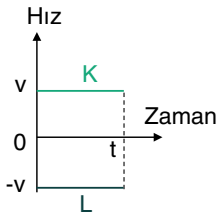
L aracı ise sıfır konumdan bir –x konumuna gittiği için hareket yönü negatiftir.



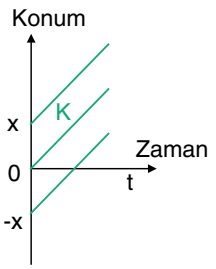
K aracının hız zaman grafiğinde pozitif bölge çizimi olması onun pozitif yöne gittiğini gösterir.

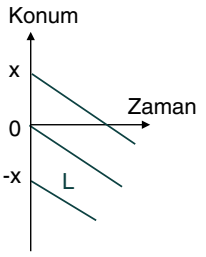
* L aracının hız zaman grafiğinde ise negatif bölge çizimi olması onun negatif yöne gittiğini gösterir.

b) Hız-zaman grafiği



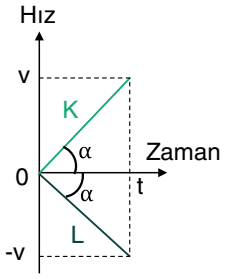
- K aracı +v sabit hızıyla pozitif yönde , L aracı ise –v sabit hızıyla negatif yönde hareket etmektedir.
- Her iki aracın hızında bir değişim olmadığı için ivmesi sıfırdır.
- İki araç için de konum zamanla düzgün değişmektedir.



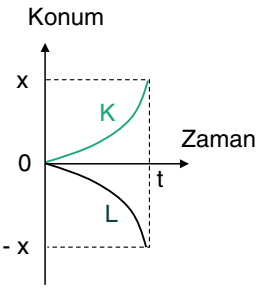


K'nin pozitif yöne gittiği bilinmesine rağmen ilk konum bilgisi olmadığı için üç farklı konumdan pozitif yöne gidebilir.

L ise negatif hareket yönünde olup yine ilk konum bilgisi olmadığı için üç farklı konumdan negatif yöne gidebilir.

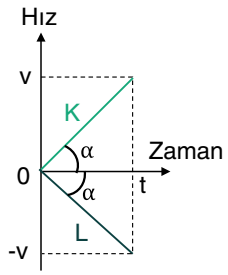


- K ve L araçlarının ilk hızı sıfır olup K pozitif yönde L ise negatif yönde hızlanmaktadır.
- Hızı düzgün artan araçların konum grafikleri konum eksenine doğru eğrilen parabol şeklinde oluşur.
- Hızda düzgün değişim olduğu için ivme sabittir.



NOT

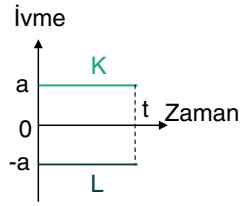
K ve L araçlarının ilk konumları belirli olmadığı için grafiklerin başlangıç noktaları orijinin altı ya da üstü olabilir.

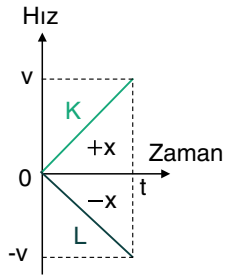


* Hız zaman grafiklerinin eğimi hareketlinin ivmesine ait hem büyüklüğünü hem de işaretini verir.

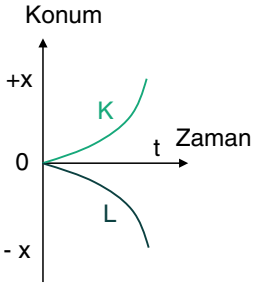
* K aracı için grafik eğimi pozitif, sabit ve büyüklüğü tanα = v/t (eğim pozitif)

* L aracı için grafik eğimi negatif ve büyüklüğü tanα = -v/t (eğim negatif)

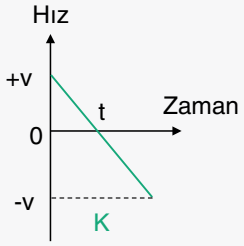




Hız-zaman grafiklerinde grafiğin zaman ekseni ile yaptığı pozitif bölge alanları hareketlinin pozitif yönde yaptığı yer değiştirme miktarını, negatif alanlar da negatif yöndeki yer değiştirme miktarlarını gösterir.



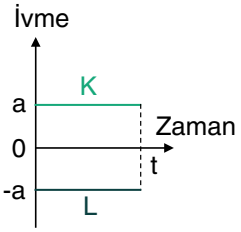
DİKKAT



Hız-zaman grafiklerinde hareketlinin yön değiştirmesi grafiğin pozitif hız bölgesinden negatif hız bölgesine ya da negatif hız bölgesinden pozitif hız bölgesine geçmesiyle anlaşılır.

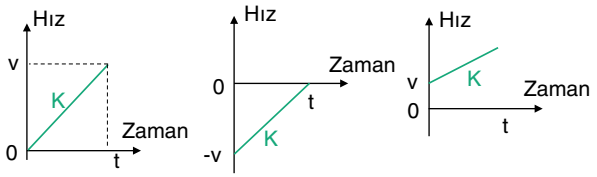
K aracı 0-t arasında ileri yönde yavaşlayıp t anında hızının sıfır olduğu ve t anından sonra geri dönerek (negatif yönde) hızlandığı görülebilir.

c) İvme-zaman grafiği

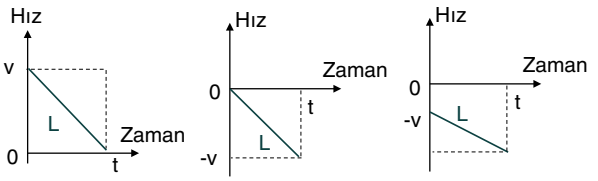


- İvme zaman grafiği sabit ise sadece aracın hızının düzgün değiştiği anlaşılır.
- İlk hız bilgisi verilmezse araçlar hızlanma ya da yavaşlama yaptığı, pozitif ya da negatif bir yöne gittiğine dair yorum yapılamaz.
- İvme zaman grafiğinde alanlar hızda meydana gelen değişim miktarını gösterir.

* Buna göre K aracı, pozitif yönde hızlanan ya da negatif yönde yavaşlayan bir araç olabilir.



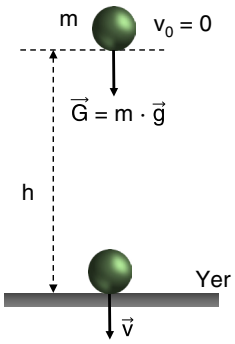
* Buna göre L aracı, pozitif yönde yavaşlayan ya da negatif yönde hızlanan bir araç olabilir.



SERBEST DÜŞME VE HAVA DİRENÇ KUVVETİ

HAVA DİRENCİNİN İHMAL EDİLDİĞİ ORTAMDA DÜŞME HAREKETİ

Hava direncinin ihmal edildiği ortamda ilk hızsız olarak bırakılan cisimler, yer çekim kuvveti etkisinde hareket ederler. Bu harekete, **serbest düşme hareketi** denir.



Hava direncinin olmadığı ortamda, h yüksekliğinden serbest bırakılan cisme etki eden tek kuvvet cismin ağırlığıdır.

Buna göre cismin ivmesi,

$$\vec{F}_{net} = \vec{G}$$
$$m \cdot \vec{a} = m \cdot \vec{g}$$
$$\vec{a} = \vec{g}$$

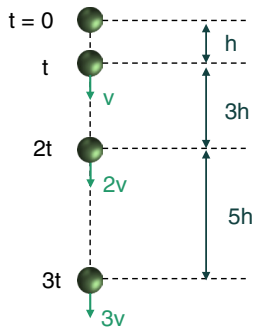
olur.

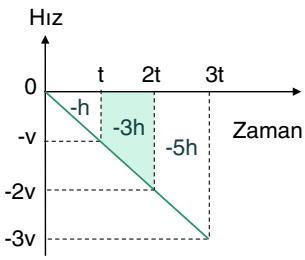
Serbest Düşmeye Ait Hareket Denklemleri

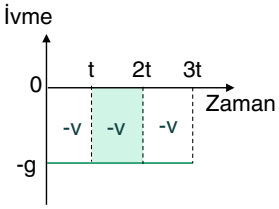
Hız Denklemi	$v = g \cdot t$
Yer Değiştirme Denklemi	$h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
Zamansız Hız Denklemi	$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$

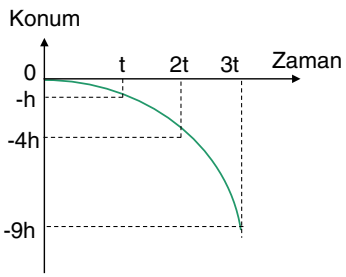
Serbest düşme hareketi ilk hızı sıfır olan düzgün bir hızlanma olayıdır. Cismin hareket yönü yere doğru olup bu yön negatif bir yön olarak kabul edilirse harekete ait grafikler,

a) Terimsel olarak;

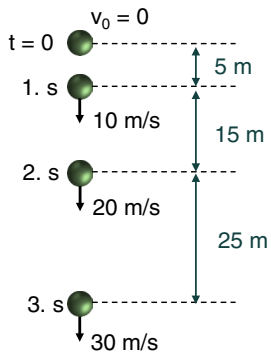


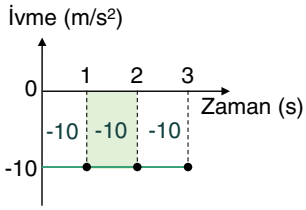




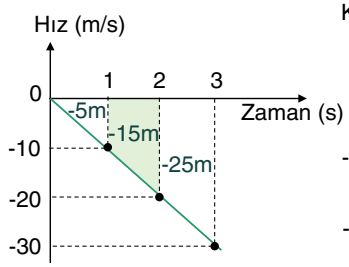


b) Sayısal değer olarak;

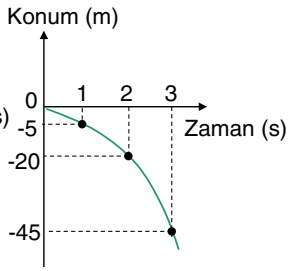




İvme-zaman grafiğinde alanlar cismin hızında meydana gelen değişim miktarlarını verir.

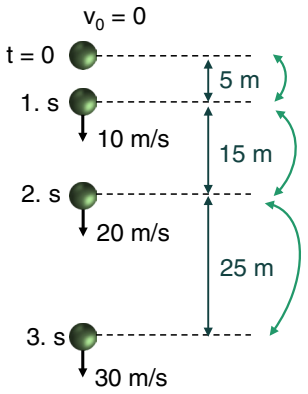


Hız-zaman grafiğinde alanlar cismin yer değiştirme miktarlarını verir.



DİKKAT

Dünya yüzeyinde yerçekimi ivmesi 9,81 m/s^2 civarında değişken bir değer olmasına karşın yer çekimi ivmesini yaklaşık olarak 10 m/s^2 olarak kullanıyoruz.



$$x_{0-1s} = v_{ort} \cdot t = \frac{0+10}{2} = 5 \text{ m}$$

$$x_{1-2s} = v_{ort} \cdot t = \frac{10+20}{2} = 15 \text{ m}$$

$$x_{2-3s} = v_{ort} \cdot t = \frac{20+30}{2} = 25 \text{ m}$$

NOT

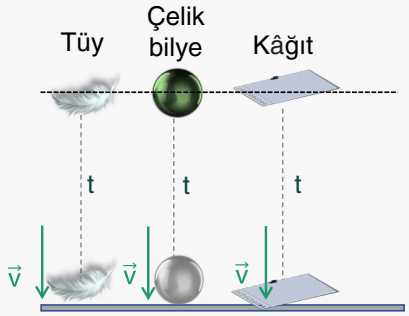
a) Cismin ivmesi g = 10 m/s^2 alındığında cismin hızı her saniye 10 m/s kadar artar.

b) Serbest düşmeye bırakılan cismin herhangi bir süre aralığında aldığı yol değerleri,

$$x = v_{ort} \cdot t$$

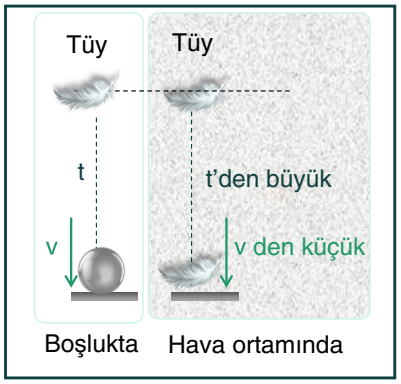
bağıntısı ile bulunabilir.

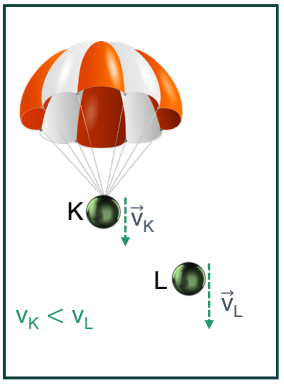
NOT



Hava direncinin olmadığı ya da ihmal edildiği serbest düşme hareketinde aynı yükseklikten serbest bırakılan bütün cisimlerin ivmeleri, yere düşme süreleri ve yere çarpma hızları eşittir.

DÜŞEN CİSİMLERE ETKİ EDEN HAVA DİRENÇ KUVVETİ



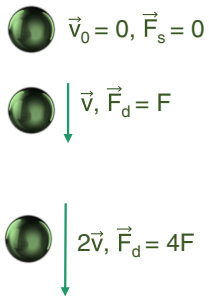


Hava direnç kuvveti, büyük yüzey alanlı cisimlerin yüksek hızlara ulaşmasını engeller.

Aynı yükseklikten bırakılan paraşüte bağlı bir bilye, serbest bırakılan bilyeye göre daha uzun sürede yere ulaşır ve daha küçük bir hızla yere çarpar.

Cisimler, hava, su gibi akışkan bir ortam içinde hareket ederken ortamın tanecikleri ile temas ederler.

Temas ettikleri tanecikleri iterek geçtikleri için direnç kuvveti (F_d) ile karşılaşırlar. Direnç kuvveti de sürtünme kuvveti gibi cismin hareketine zıt yönlü oluşur ve cismin hareketini zorlaştırır. Bu nedenle hava ortamında aynı yükseklikten bırakılan kuş tüyü, boşlukta bırakılan kuş tüyüne göre daha uzun süre havada kalır ve daha küçük bir hızla yere çarpar.



Yeryüzü yakınlarında cisimlere etki eden direnç kuvveti,

$$F_d = K \cdot A \cdot v^2$$

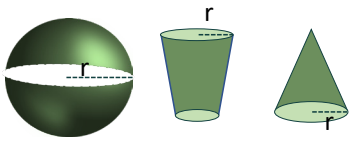
bağıntısıyla bulunur.

Hava direnci kuvvetinin büyüklüğü,

a) Ortamın direnç katsayısına (K),

b) Cismin en büyük kesit alanına (A),

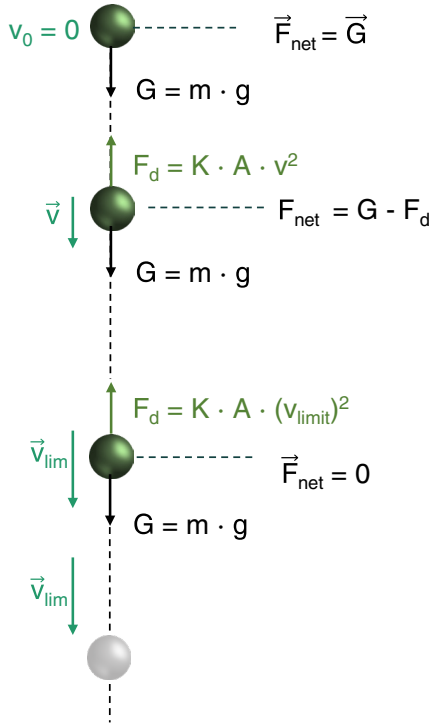
c) Cismin hızına (v) bağlıdır.



Hava direnç kuvveti cismin hava temasındaki en büyük kesit alanı olarak dikkate alınır.

$$A = \pi \cdot r^2$$

LİMİT HIZ



Cismin hızı artıkça, cisme etki eden direnç kuvveti de artar. Direnç kuvveti arttığı için net kuvvet azalır. Hızın artmasıyla artan direnç kuvveti bir süre sonra cismin ağırlığı kadar bir büyüklüğe ulaşır. Bu durumda cisme etki eden net kuvvet ve cismin ivmesi sıfır olur. Bu andan sonra cisim değişmeyen bir hızla hareket eder. Cismin sabit hızla hareket etmeye başladığı bu hıza **"limit hız" (v_{lim})** denir.

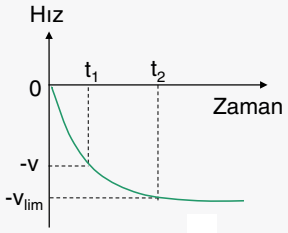
Bu limit hızın büyüklüğü,

$$F_d = G$$

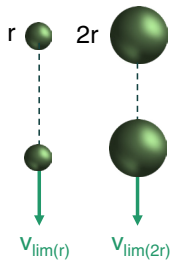
$$K \cdot A \cdot (v_{limit})^2 = m \cdot g$$

$$(v_{limit})^2 = \frac{m \cdot g}{K \cdot A}$$

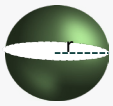
$$v_{limit} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{K \cdot A}}$$ bağıntısı ile bulunur.



Aynı hava ortamında serbest düşen r yarıçaplı küresel yapılı bir yağmur tanesi ile 2r yarıçaplı yağmur tanesinin ulaşabileceği limit hızları kıyaslayalım.



- r yarıçaplı yağmurun hacmi (yarıçapın küpü ile orantılı olup) v, kütlesi m ise, 2r yarıçaplı yağmur tanesinin hacmi 8v, kütlesi de 8m olur.
- r yarıçaplı yağmur damlalarının kesit alanı $\pi \cdot r^2 = A$ iken, 2r yarıçaplı yağmurun kesit alanı $\pi \cdot (2r)^2 = 4\pi \cdot (r)^2 = 4A$ olur.



Damlalarının kesit alanı için kürenin ortasından kesildiğinde görünen dairenin alanı alınır.

$$v_{limit} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{K \cdot A}}$$ bağıntısını iki cisim için de yazalım.

$$v_{limit(r)} = \sqrt{\frac{m \cdot g}{K \cdot A}} \text{ ve } v_{limit(2r)} = \sqrt{\frac{8m \cdot g}{K \cdot 4A}}$$

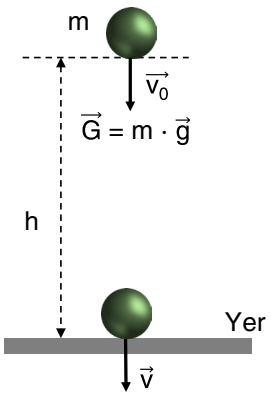
oranları da;

$$\frac{v_{limit(r)}}{v_{limit(2r)}} = \frac{1}{\sqrt{2}}$$ olarak bulunur.

BİR BOYUTTA YUKARI VEYA AŞAĞI ATILAN CİSİMLERİN HAREKETİ

DÜŞEY DOĞRULTUDA ATIŞ HAREKETİ

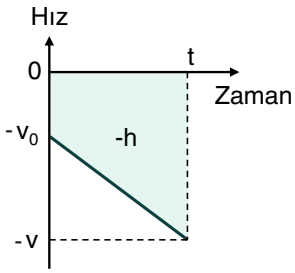
a) Yukarıdan Aşağıya Doğru Düşey Atış Hareketi

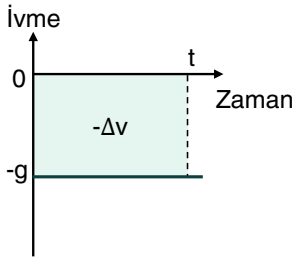


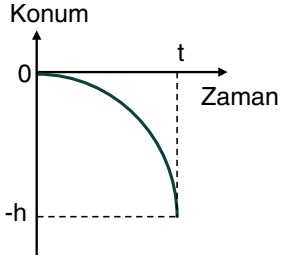
- Hava direncinin ihmal edildiği ortamda $\vec{v}_0$ hızıyla düşey olarak aşağı doğru atılan cisme yalnızca çekim kuvveti etki eder.
- Cismin ivmesi g yerçekim ivmesine eşittir ve hareket boyunca sabittir.
- Cismin ivmesi, hareketle aynı yöndedir.
- Bu durumda cisim, ilk hızı $\vec{v}_0$ olan düzgün hızlanan doğrusal hareket yapar.
- Bu durumda hareketle ilgili denklemler aşağıda verilen tablodaki gibi olur.

Hız Denklemi	$v = v_0 + g \cdot t$
Yer Değiştirme Denklemi	$h = v_0 \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
Zamansız Hız Denklemi	$v^2 = v_0^2 + 2 \cdot g \cdot h$

- Aşağıya doğru düşey atış hareketine ait grafiklerin özellikleri, ilk hızı $\vec{v}_0$ olan ve düzgün hızlanan doğrusal harekete ait grafiklerin özellikleriyle aynıdır.
- v_0 büyüklüğünde hızla harekete başlayan ve t sürede v büyüklüğünde hıza ulaşan cisim h kadar düşer ve aşağı doğru olan yön (-) seçilirse hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri aşağıdaki gibi olur.





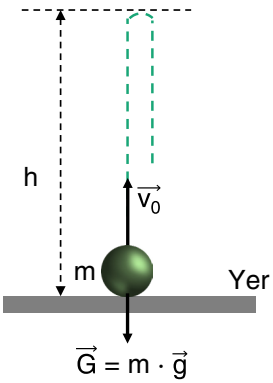


Cismin t sürede aldığı yol;
$h = \frac{v + v_0}{2} \cdot t$ ile bulunabilir.

$\Delta v = g \cdot t$

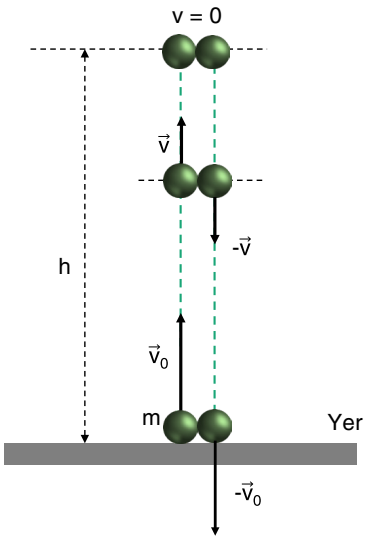
$v - v_0 = g \cdot t$

b) Aşağıdan Yukarıya Doğru Düşey Atış Hareketi



- Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden $\vec{v}_0$ hızıyla düşey olarak yukarıya doğru atılan cisme çekim kuvveti etki eder.
- Cismin ivmesi g yerçekim ivmesine eşittir ve hareket boyunca sabittir.
- Cisme etki eden çekim kuvveti harekete zıt yönde olduğu için cisim, ilk hızı $\vec{v}_0$ olan düzgün yavaşlayan doğrusal hareket yapar ve durur.
- Yukarıya doğru düşey olarak atılan cisim maksimum yüksekliğe ulaştıktan sonra serbest düşme hareketi yapar.
- Bu durumda harekete ait denklemler aşağıda verilen tablodaki gibi olur.

Hız Denklemi	$v = v_0 - g \cdot t$
Yer Değiştirme Denklemi	$h = v_0 \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
Zamansız Hız Denklemi	$v^2 = v_0^2 - 2 \cdot g \cdot h$



Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yerden yukarıya doğru düşey olarak atılan cismin çıkabileceği en büyük yüksekliğe **maksimum yükseklik (h_{max})** denir.

Cismin atıldığı yere düştüğü kabul edilirse çıkış süresi $t_{çıkış}$, iniş süresine $t_{iniş}$ ve uçuş süresi $t_{uçuş}$ ile gösterilirse;

- Çıkış ve iniş sürelerinin eşitliği dikkate alındığında çıkış ve inişteki hız değişim büyüklüklerinin de eşit olduğu görülür.
- Sonuç olarak cisim yükselirken herhangi bir noktadaki hızının büyüklüğü v ise aşağı doğru düşerken aynı noktadaki hızının büyüklüğü yine v olur.

$$t_{çıkış} = t_{iniş} = t \text{ ise}$$

$$t_{uçuş} = 2t_{çıkış} = 2t_{iniş} = 2t \text{ olur.}$$

KRİTİK BİLGİ

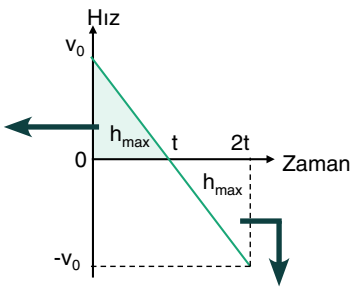
Cismin maksimum yükseklikteki hızı bir anlık sıfır olmasına rağmen cismin ivmesi sıfır değildir. Cisim üzerinde net kuvvet her an cismin ağırlığına eşit olduğu için cismin yörüngedeki her noktada ivme hem büyüklük olarak hem de yön olarak sabit ve yerçekim ivmesine eşittir.

- Aşağıdan yukarıya doğru düşey atış hareketine ait grafiklerin özellikleri, çıkışta düzgün yavaşlayan doğrusal hareket ve inişte düzgün hızlanan doğrusal hareket yapan cismin grafikleriyle aynı özellikleri taşır.
- v_0 büyüklüğünde hızla harekete başlayan ve t süre sonra duran cisim, maksimum yüksekliğe (h_{max}) ulaşır. Buna göre aşağı doğru olan yön (-) seçilirse hız-zaman, ivme-zaman ve konum-zaman grafikleri aşağıdaki gibi olur.

Hız – zaman grafiğinin alanı cismin çıkabileceği max yüksekliği verir ve

$$h_{max} = \frac{v_0 \cdot t}{2} = \frac{(v_0)^2}{2g}$$

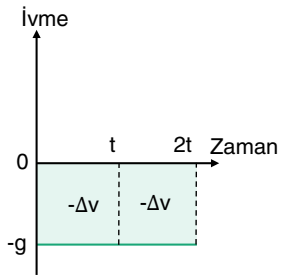
bulunur.

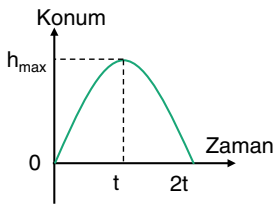


Hız–zaman grafiğinin eğiminden, max yüksekliğe çıkış süresi,

$$t_{çıkış} = t_{iniş} = t = \frac{v_0}{g}$$

bulunur.





DİKKAT

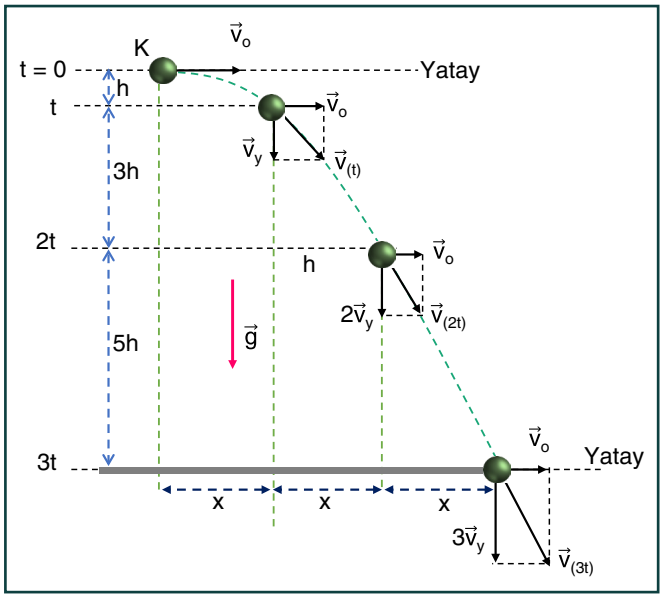
Yerden yukarı yönde $\vec{v}_0$ ilk hızıyla atılan cismin hızı $2\vec{v}_0$ yapıldığında,

* Cismin maksimum yüksekliğe çıkış süresi ilk hız büyüklüğüyle doğru orantılıdır.

* Cismin çıkabileceği maksimum yükseklik ilk hızın karesiyle orantılıdır.

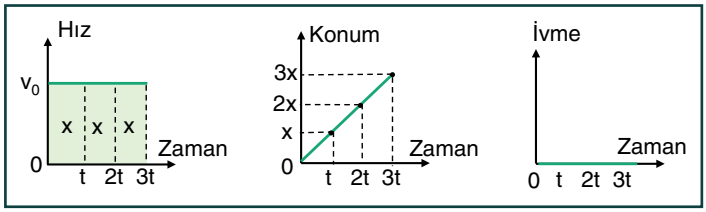
YATAY ATIŞ

YATAY ATIŞ HAREKETİ



- t = 0 anında, hava direncinin ihmal edildiği bir ortamda K cismi $\vec{v}_0$ yatay hızıyla atıldığında cisim şekildeki yörüngeyi izleyerek yere ulaşır.
- Cisim hem yatay hem de düşey yer değiştirmeler yapar.
- Atıldıktan sonra yatay yönde cisme kuvvet etkisi olmadığı için cisim hızını ($\vec{v}_0$) değiştirmez ve yatayda eşit zamanlarda eşit yollar alır.
- Cisim düşey yönde yerçekimi kuvveti etkisinde kaldığı için ivmesi ($\vec{g}$) yerçekim ivmesine eşittir. Bu yönüyle de cisim düşey yönde serbest düşme kurallarına uygun hızlanmalar ve yer değiştirmeler yapar.

Yatay Atış Hareketinin Yatay Yönde İncelenmesi



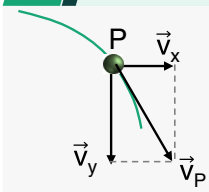
t sürede aldığı yatay yol,

$$x = v_x \cdot t$$

$$x = v_0 \cdot t$$

bağıntısı ile bulunur.

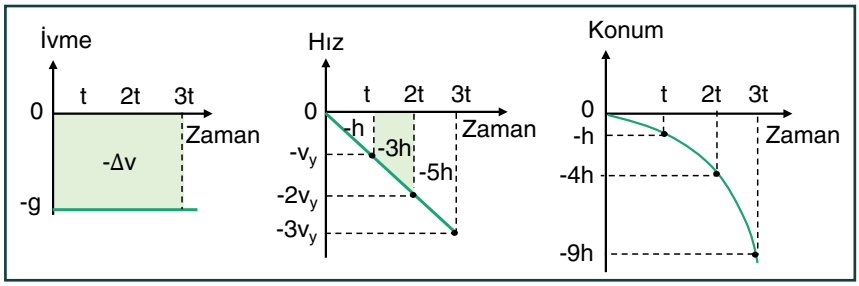
DİKKAT



Yörüngenin herhangi bir P noktasında cismin hızının büyüklüğü,

Yatay yöndeki $v_x = v_0$ ile o andaki düşey hızı $v_y = g \cdot t$ hızlarının bileşkesidir.

Yatay Atış Hareketinin Düşey Yönde Grafik İncelemesi (Terimsel olarak)



t sürede aldığı yol, $h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$

t süre sonra hız, $v_y = g \cdot t$

Zamansız hız denklemi,

$v^2 = 2 \cdot g \cdot h$

olarak kullanılır.

DİKKAT

Yerçekim ivmesi g değerinde sabit kabul edilirse düşey yönde her t sürede hız artışı v_y kadar olurken, aldığı yol değerleri de (serbest düşmede de olduğu gibi),

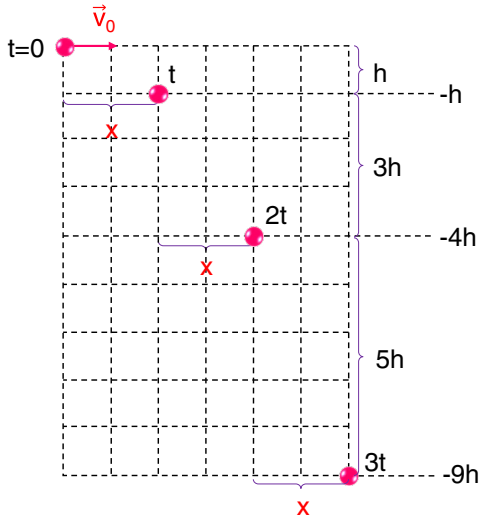
0-t arasında h

t-2t arasında 3h

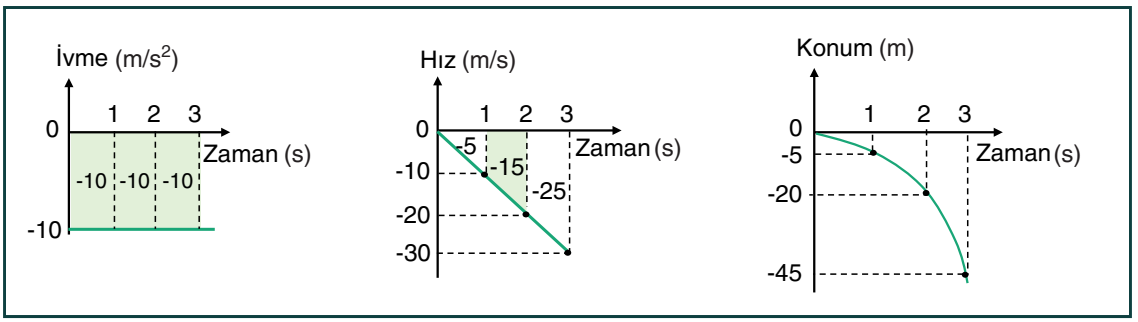
2t-3t arasında 5h

şeklinde gerçekleşir.

Yatay atış hareketi yapan bir cismin eşit zaman aralıklarındaki yatay ve düşey konumları



Yatay Atış Hareketinin Düşey Yönde Grafik İncelemesi (Sayısal değerler ile)



DİKKAT

Yerçekim ivmesi 10 m/s² kabul edilirse düşey yönde her saniye hız artışı 10 m/s olurken, aldığı yol değerleri de (serbest düşmede de olduğu gibi),

0-1 s arasında 5 m

1-2 s arasında 15 m

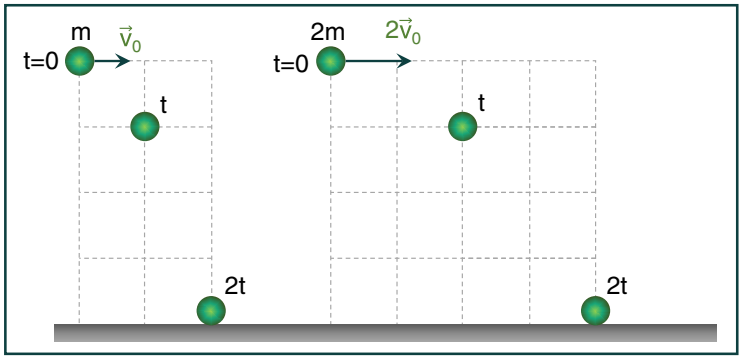
2-3 s arasında 25 m

şeklinde gerçekleşir.

DİKKAT

Yatay atış hareketinde,

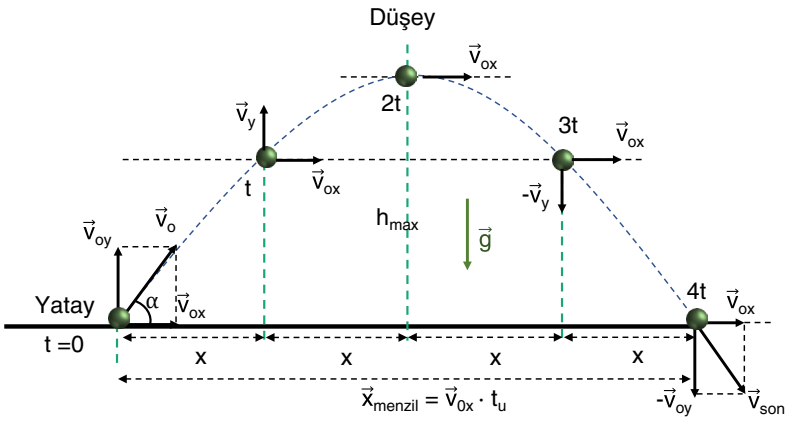
1. Cismin havada kalma süresi ilk hızına ve cismin kütle büyüklüğüne bağlı değildir.
2. Cismin havada kalma süresi cismin yerden yüksekliğine (h) ve yerçekim ivmesinin (g) büyüklüğüne bağlıdır.



m kütleli cisim yatay $\vec{v}_0$ ilk hızıyla atıldığında 2t sürede yere düşüyorsa, 2m kütleli cisim aynı yükseklikten $2\vec{v}_0$ yatay hızıyla atıldığında yine 2t sürede yere düşer, yatayda aldığı yol 2 katına çıkar.

EĞİK ATIŞ

YUKARI YÖNDE EĞİK ATIŞ HAREKETİ

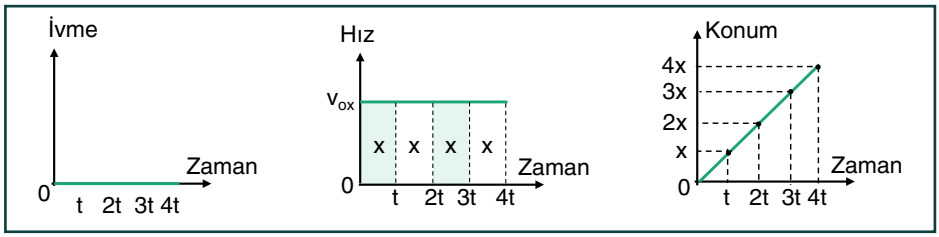


Eğik atış hareketi yapan bir cismin 0-4t zaman aralığındaki yörüngesi

$$v_{0x} = v_0 \cdot \cos\alpha$$
$$v_{0y} = v_0 \cdot \sin\alpha$$

- Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yukarı yönde yatayla α açısı yapacak şekilde $\vec{v}_0$ ilk hızıyla eğik atış hareketi yapan cisme etki eden tek kuvvet yer çekimi kuvvetidir.
- Bu yüzden cisim düşeyde sabit ($\vec{g}$) yerçekim ivmesi ile hareket, yatayda ise sabit hızlı hareket yapar.
- Düşeydeki hareket, aşağıdan yukarıya düşey atılan bir cismin hareket özelliklerini gösterir.

Eğik Atış Hareketinin Yatay Yönde İncelenmesi



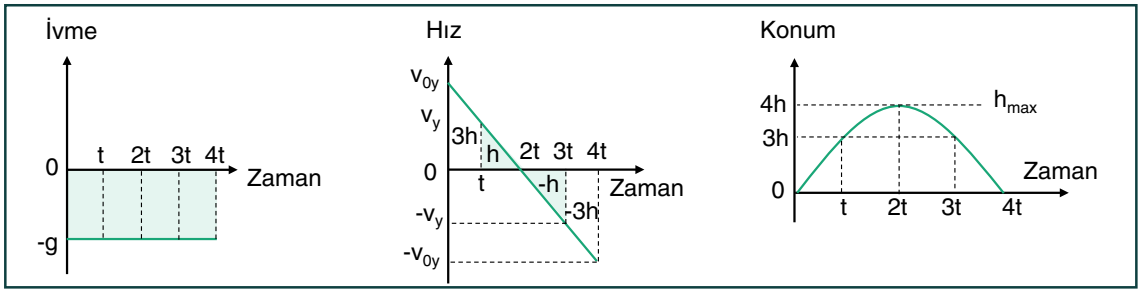
- Eğik atış hareketi yatay yönde sabit hızlı hareketlinin özelliklerine sahiptir.
- Yatay yönde cismin ivmesi sıfırdır.
- Cismin $t_{uçuş}$ süresinde yatayda alacağı en büyük yola x_{menzil} denir.
- Cismin tepe noktasındaki hızı sıfır olmayıp, yörünge boyunca değişmeyen v_{0x} kadardır.

Yatay yöndeki hareket için bağıntılar

- t sürede aldığı yatay yol, $x = v_{0x} \cdot t$
- Cismin yatayda alacağı maksimun yol

$$x_{menzil} = v_{0x} \cdot t_{uç}$$

Eğik Atış Hareketinin Düşey Yönde İncelenmesi



- Eğik atış hareketi, düşey yönde yerden yukarı yönde düşey atış hareketinin özelliklerine sahiptir.
- Cismin $t_{çıkış}$ süresinde aldığı en büyük düşey yola maksimum yükseklik (h_{max}) denir.

Düşeydeki Harekete Ait Hız, Yer Değiştirme ve Zamansız Hız Denklemleri

- t sürede aldığı düşey yol, $h = v_{0y} \cdot t - \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
- Bir t anında düşey hız, $v_y = v_{0y} - g \cdot t$
- Zamansız hız denklemi $v_y^2 = (v_{0y})^2 - 2 \cdot g \cdot h$ **ile bulunur.**

DİKKAT

- Cisim aynı düzleme düşerse, çıkış süresi iniş süresine eşit olur.
- Cismin havada kalma süresi, $t_{çıkış} = t_{iniş} = \frac{v_{0y}}{g}$; v_{0y} düşey hız büyüklüğü ile doğru, g yerçekim ivmesiyle ters orantılıdır.
- Yatayda aldığı yol (menzil), $x_{menzil} = v_{0x} \cdot t_{uç} = v_{0x} \cdot 2\frac{v_{0y}}{g}$ hem düşey hız hem de yatay hız büyüklüğüne bağlıdır.
- Eğik atış yapan cisim, maksimum yüksekliğe çıktıktan sonra yatay atış hareketi yapar.
- Cismin yere çarpma hızının büyüklüğü (v_{son}), harekete başlarken sahip olduğu ilk hızın (v_0) büyüklüğüne eşittir.

KRİTİK BİLGİ

Bir cisim yatayla yukarı yönde α kadar açıyla ve $\vec{v}_0$ ilk hızıyla atılırsa cismin menzili (x),

$$x = \frac{v_0^2 \cdot \sin 2\alpha}{g}$$

bağıntısıyla hesaplanabilir.

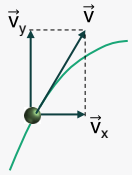
Bu formülden iki önemli sonuca ulaşılır:

1. Cisim yatayla yukarı yönde 45° açı yapacak şekilde atıldığında maksimum menzile sahip olur. Buna göre hız büyüklüğü değiştirilmeden yatayla yukarı yöndeki atış açısı 0°den 45°ye kadar büyüdükçe atış uzaklığı da büyür, 45°den 90°ye kadar ise küçülür.
2. Cisim, aynı büyüklükteki hızlarla birbirini 90°ye tamamlayan açılarla atılırsa yatayda aynı menzil uzaklığına sahip olur.

DİKKAT

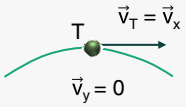
Yörüngenin herhangi bir noktasında cismin hızı, yatay yöndeki $\vec{v}_x = \vec{v}_{0x}$ ile o andaki düşey hızı $\vec{v}_y$ hızlarının bileşkesidir.

a) Çıkış bölgesinde

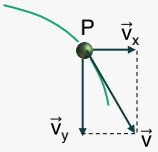


$v^2 = v_x^2 + v_y^2$

b) Tepe noktasında

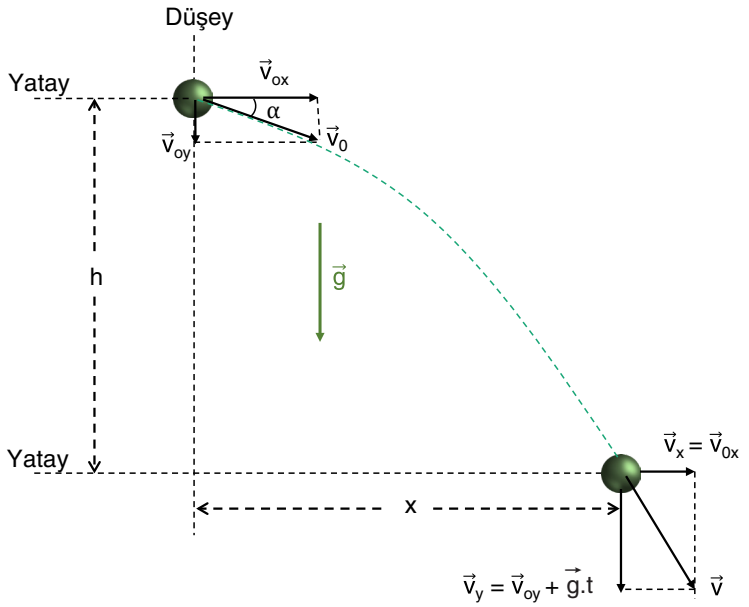


c) İniş bölgesinde



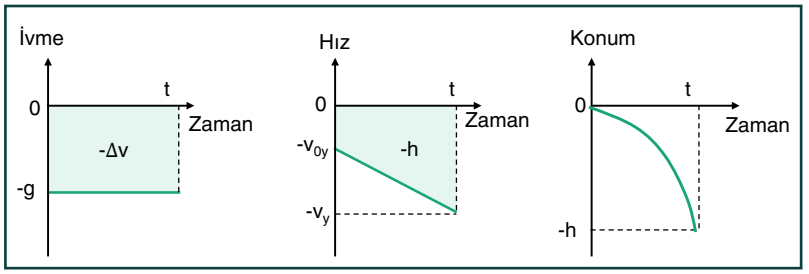
$v^2 = v_x^2 + v_y^2$

Aşağı Yönde Eğik Atış Hareketi (Pike Atış)



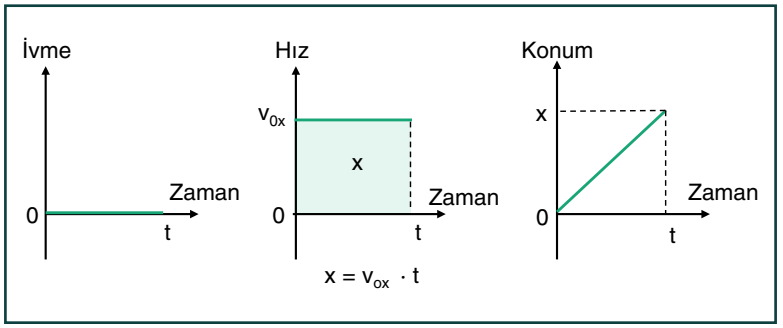
- Hava direncinin ihmal edildiği ortamda yatayla α açısı yapacak şekilde aşağı yönde eğik olarak atılan cisim, hem yatay hem de düşey doğrultuda ilerler.
- Cisim atıldığı andan itibaren yalnızca çekim kuvveti etkisinde kalır.
- Cismin düşey doğrultuda ilk hızı v_{oy} büyüklüğünde olan düşey atış hareketi ile aynı hareketi yapar.
- Hareket süresince yatay doğrultuda cisme etki eden herhangi bir kuvvet yoktur. Bu nedenle cisim yatay doğrultuda v_{0x} büyüklüğünde hızla sabit hızlı hareket yapar.
- İki boyuttaki hareket yatay ve düşey eksenler üzerinde ve birbirinden bağımsız olarak ele alınıp incelenir.

- Aşağı yönde eğik atış yapan cismin düşey doğrultudaki hareketine ait grafikler şekildeki gibidir.

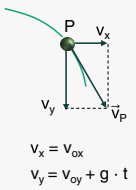


Düşeydeki Harekete Ait Hız, Yer Değiştirme ve Zamansız Hız Denklemleri
$v_y = v_{0y} + g \cdot t$
$h = v_{0y} \cdot t + \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$
$v_y^2 = (v_{0y})^2 + 2 \cdot g \cdot h$

- Aşağı yönde eğik atış yapan cismin yatay doğrultudaki hareketine ait grafikler şekildeki gibidir.



DİKKAT



Yörüngenin herhangi bir P noktasında cismin hızı, yatay yöndeki v_x ile o andaki düşey hızı v_y hızının bileşkesidir.

$$v_P^2 = v_x^2 + v_y^2$$

İŞ KAVRAMI VE ENERJİ TÜRLERİ

İŞ VE ENERJİ

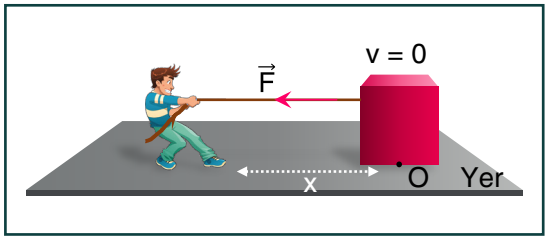
Fiziksel anlamda iş, bir enerji değişimidir. Bir kuvvet etki ettiği sistem içindeki cisimlerin bazen kinetik enerji, bazen yer çekimi potansiyel enerjisi değerlerini değiştirirken, bazen de sadece ısı etkisi oluşturur.

Bu durumlar,

İş = Enerji Değişimi

$W_{(iş)} = \Delta E = E_{son} - E_{ilk}$

ilişkisi şeklinde açıklanır.



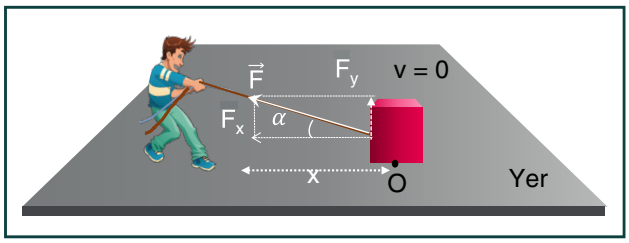
F kuvvetinin yaptığı iş hareket doğrultusundaki kuvvetin büyüklüğü ile cismin yer değiştirmesinin çarpımıyla bulunur. Ortamdaki sürtünme kuvvetleri ihmal edilirse kuvvetin yaptığı iş, cismin x kadar yol sonunda kazanacağı kinetik enerjiye eşittir.

İş (W) = F · x = E_k

Joule = Newton·Metre

DİKKAT

İş birimi aynı zamanda enerji birimidir.



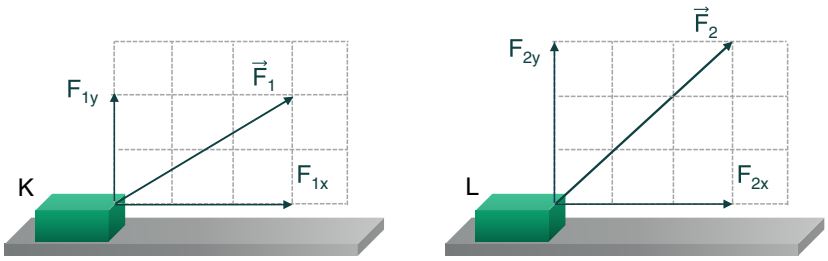
F kuvveti cismin hareket doğrultusu ile bir açı yapıyorsa, kuvvetin yaptığı iş, kuvvetin hareket doğrultusundaki $F_x = F \cdot \cos\alpha$ bileşeninin yaptığı işe eşittir.

Sürtünme kuvvetleri önemsiz ise cismin x yolu sonunda kazanacağı kinetik enerji de bu kuvvetin yaptığı işe eşittir.

İş (W) = $F_x \cdot x = F \cdot \cos\alpha \cdot x = E_k$

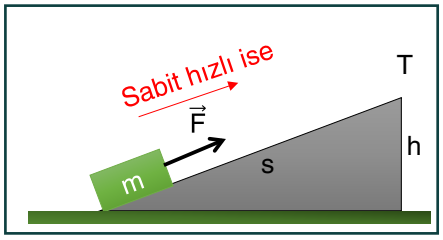
DİKKAT

$\vec{F}$ kuvvetinin hareket doğrultusuna dik olan F_y bileşeni hareket doğrultusunda olmadığı için iş yapmaz.



$\vec{F}_1$ ve $\vec{F}_2$ kuvvetleri etkisinde yatay zeminde aynı miktar hareket eden K ve L cisimleri üzerinde her iki kuvvetin yaptığı işler eşittir.

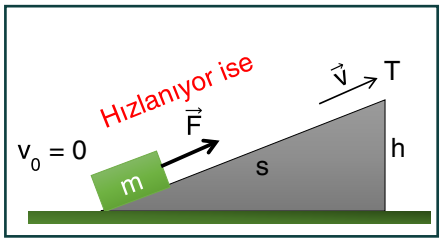
Hareket doğrultusundaki kuvvetler F_{1x} ve F_{2x} eşit olduğu için bu iki bileşenin aynı yol boyunca yaptıkları işler de eşit olur.



Sürtünmesiz eğik düzlemin alt ucundaki m kütleli cisim F kuvveti etkisinde sabit hızlı olarak s yolu boyunca çekilip T tepe noktasına çıkarıldığında F kuvvetinin yaptığı iş cismin kazandığı yer çekimi potansiyel enerjisine eşit olur.

$W = F \cdot s = \Delta E$

$F \cdot s = E_p = m \cdot g \cdot h$



Eğik düzlemin alt ucunda durgun haldeki m kütleli cisim F kuvveti etkisinde sürtünmesiz eğik düzlemde s yolu boyunca çekilip T tepe noktasına çıkarıldığında v hızına sahip ise; W (iş) $= F \cdot s = \Delta E$

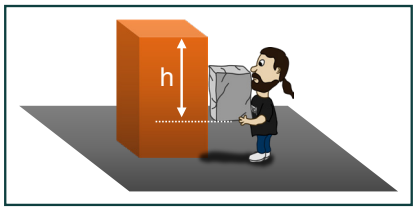
$$F \cdot s = E_p + E_k = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

olarak yazılabilir.

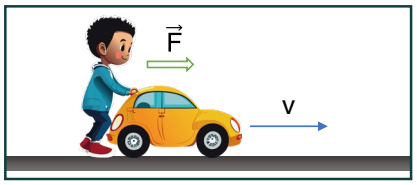
HATIRLAYALIM

Bir cismin hızından dolayı kazandığı enerjiye kinetik, yerden yüksekliğine bağlı olarak sahip olduğu enerjiye ise yer çekimi potansiyel enerjisi denir.

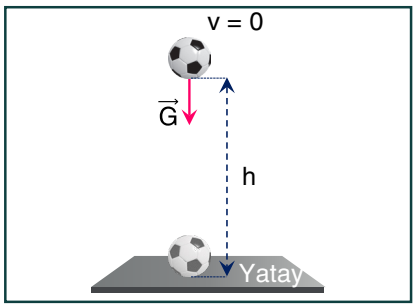
HANGİ KUVVETLER İŞ YAPAR?



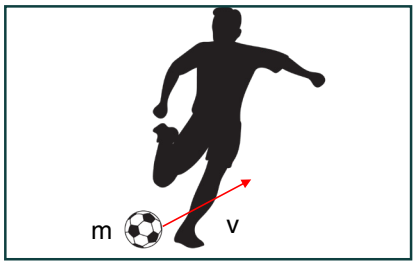
Elindeki bloğu duvar üstüne bırakmaya çalışan işçi cismin yer çekimi potansiyel enerjisini artırarak iş yapar.



Çocuk oyuncak arabayı iterek hızlandırır ve arabanın kinetik enerjisini artırarak iş yapar.

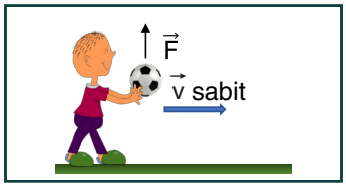


Topun yere çarpma sırasında sahip olacağı kinetik enerji G ağırlığının yaptığı işe eşittir.

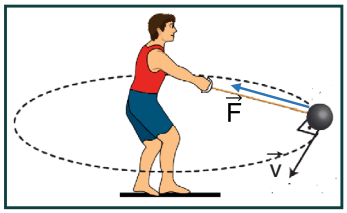


Futbolcu durgun m kütleli topa vurarak topu hızlandırır ve iş yapar.

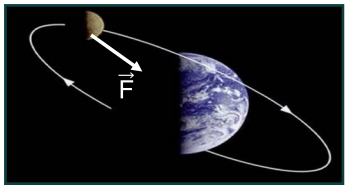
HANGİ KUVVETLER İŞ YAPMAZ?



Çocuk, elindeki topu düşey yukarı F kuvveti ile dengeleyip yatay yolda sabit hızla yürürse cisim üzerinde bir iş yapmaz. Cismin hem yüksekliğe bağlı potansiyel enerjisinde hem de hıza bağlı kinetik enerjisinde bir değişim gözlenmez.



Sporcu, gülleye şekildeki gibi **hız vektörüne dik olacak şekilde** bir kuvvet uygularsa cisim üzerinde dönme süresince F kuvveti tarafından bir iş yapılmaz. Cisim süratini değiştirmeden çembersel hareketini sürdürür.

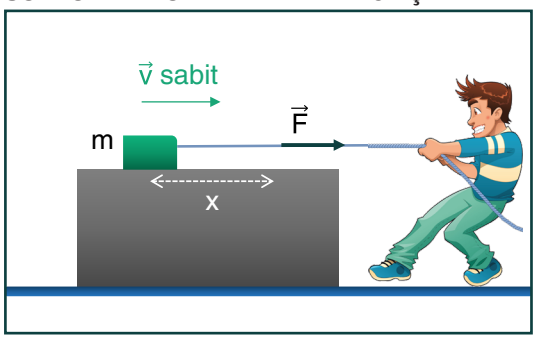


Ay, Dünya çevresinde yaklaşık olarak çembersel bir yörünge izler. Yörünge üzerinde Ay'a etki eden kuvvet Dünya tarafından uygulanan F kütlesel çekim kuvvetidir. Bu kuvvet Ay'ın çizgisel hız vektörüne dik kabul edilir ve bu kuvvet iş yapmayan bir kuvvet olarak tanımlanabilir.

DİKKAT

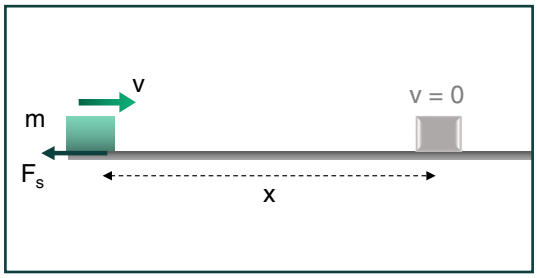
Hareket doğrultusuna dik olan kuvvet ya da kuvvet bileşenleri cisim üzerinde iş yapmadığı için bu kuvvetlerin etkisi ile cismin mekanik enerjisinde bir değişme olmaz.

SÜRTÜNME KUVVETİNİN YAPTIĞI İŞ



- Sürtünmeli yatay düzlemde $\vec{F}$ kuvveti etkisinde x kadar çekilen cisim sabit hızla hareket ediyorsa cisim üzerinde hem F kuvveti hem de sürtünme kuvveti iş yapar. F kuvvetinin yaptığı iş, sürtünme kuvvetinin yaptığı işe eşittir.
- F kuvvetinin yaptığı iş cismin kinetik ve potansiyel enerjisini değiştirmez. Yapılan iş sistemde sürtünmeler nedeniyle oluşan ısıya dönüşür.

* Bu olayda iş enerji ilişkisi, $W = F \cdot x = Q_{ISI} = f_s \cdot x$ şeklinde yazılabilir.



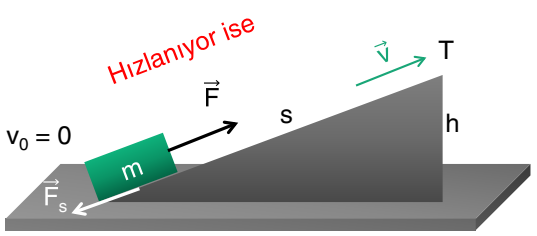
Sürtünmeli yola v hız büyüklüğüyle atılan m kütleli cisim sürtünme kuvvetinin yaptığı negatif iş nedeniyle yavaşlar, x kadar yol alıp durur ve sistemde ısı oluşur.

Sürtünme kuvvetinin yaptığı işin büyüklüğü cismin başlangıçtaki sahip olduğu kinetik enerji kadardır.

Bu durum, $\boxed{F_s \cdot x = Q_{ISI} = E_k = \frac{1}{2}mv^2}$ şeklinde yazılabilir.

KRİTİK BİLGİ

İş ve enerji skaler bir büyüklüktür. Hareket yönündeki kuvvetler pozitif, hareket yönüne ters kuvvetler negatif iş yaparlar.



Eğik düzlem sürtünmeli

Durgun haldeki m kütleli cisim F kuvvet etkisinde sürtünmeli eğik düzlemde s yolu boyunca çekilip T tepe noktasına çıkarıldığında v hızına sahip ise, F kuvvetinin yaptığı iş, cismin hızlanması ile oluşan kinetik enerji, yükselmesi ile oluşan yer çekimi potansiyel enerjisi ve sürtünme kuvveti nedeniyle oluşan ısı enerjisinin toplamına eşittir.

$$F \cdot s = E_p + E_k + Q_{ısı} = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2}mv^2 + f_s \cdot s$$

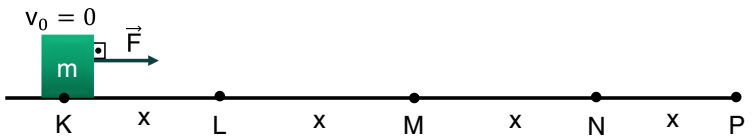
DİKKAT

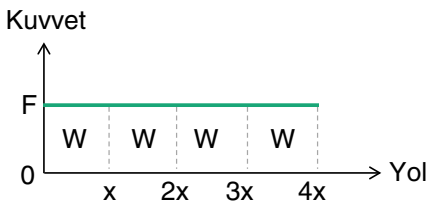
Sürtünme kuvvetinin yaptığı iş sistemde oluşan ısıya eşittir.

Bu durum, $W_{Fs} = F_s \cdot x = Q_{ısı}$ şeklinde yazılabilir.

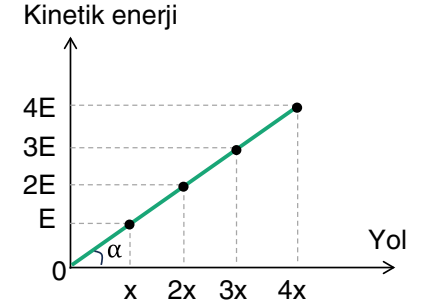
Kuvvet-Yol, Hız-Zaman, Enerji-Zaman, Enerji-Yol Grafiği

Durgun haldeki m kütleli cisim sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde sabit bir kuvvet etkisinde kalsın.



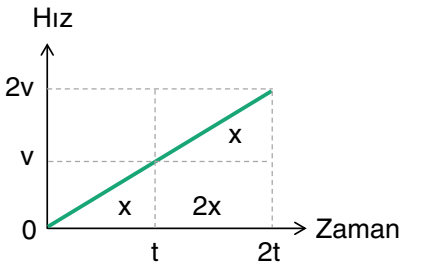


- 0-4x konum aralığında toplam iş (net iş) W + W + W + W = 4W kadardır.
- Kuvvet-Yol grafiğinde alanlar (F • x = W = E) yapılan işi ve cismin kinetik enerji değişimlerini gösterir.

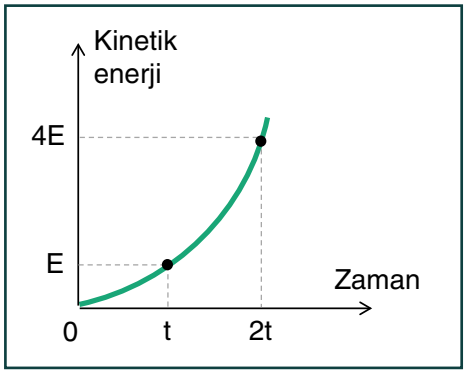


Enerji-yol grafiğinde grafiğin eğimi cisme etki eden kuvveti verir.

$$\text{Eğim} = tg\alpha = \frac{E}{x} = F$$



Sabit kuvvet etkisinde kalan cisim sabit ivme ile düzgün hızlanır. Hareketli 4x kadarlık yolu 2t zaman aralığında alır.

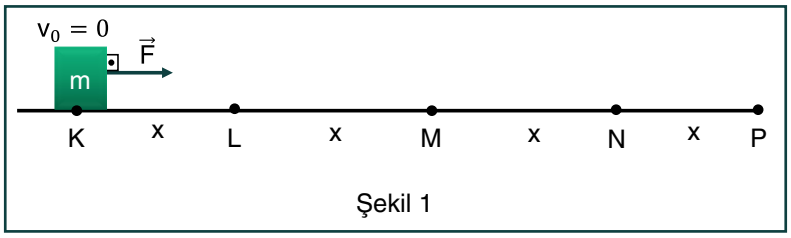


Kinetik enerji $E_k = \frac{1}{2}mv^2$ bağıntısına göre hızın karesiyle orantılı olduğu için cismin t anında hızı v, kinetik enerjisi E ise, 2t anında hız 2v olup kinetik enerji de 4E olur.

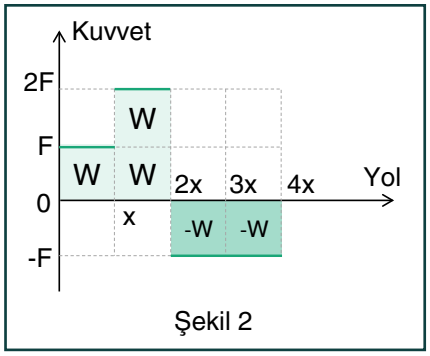
Kinetik enerjinin zamana göre değişimi de parabol eğrisine benzer şekilde oluşur.

Değişken Kuvvet Etkisinde Kalan Cisim üzerinde İş-Enerji İlişkisi

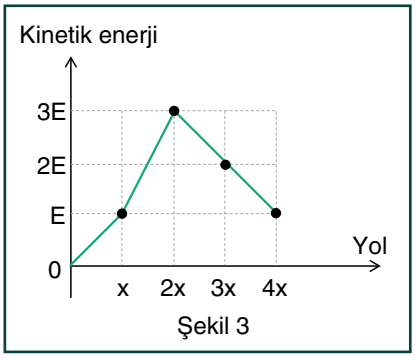
Durgun haldeki m kütleli cisim sürtünmelerin ihmal edildiği yatay düzlemde Şekil 2'deki gibi değişken kuvvetler etkisinde KLMNP yolunu alsın:



Şekil 1



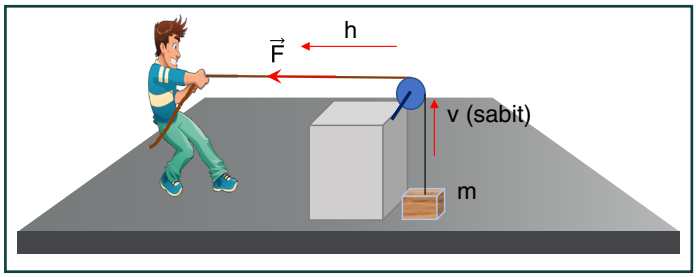
Şekil 2



Şekil 3

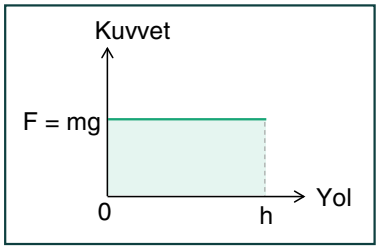
- Durgun halden harekete geçirilen cisim üzerindeki kuvvetler hareket yönü ile aynı yönde iken yapılan işler pozitif olup cismin kinetik enerjisini artırırken, negatif yöndeki kuvvet bölgesinde yapılan iş negatif olup cismin kinetik enerjisini azaltmaktadır. (Şekil 3)
- 0-4x konum aralığında toplam iş (net iş) W + 2W – W – W = W kadardır.
- W = E olarak kabul edilirse, cismin K, L, M, N, P konumlarında sahip olduğu kinetik enerjiler ise,

  L'de E, M'de 3E, N'de 2E ve P'de E olarak yazılabilir.



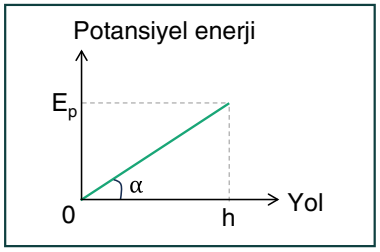
Sürtünmelerin ihmal edildiği ortamda m kütleli cismin ağırlığına eşit büyüklükteki $\vec{F}$ kuvvetinin etkisiyle cisim sabit hızla h kadar yükseltilirken cisim yer çekimi potansiyel enerjisi kazanır.

Bu olayda iş, $W = F.h = E_P = m \cdot g \cdot h$ şeklinde yazılabilir.



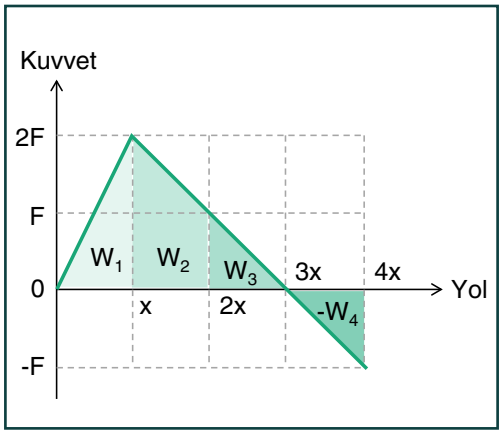
Kuvvet-yol grafiğinde alan kuvvetin yaptığı işi verir.

Alan = W = F • h = m • g • h



Enerji-yol grafiğinde grafiğin eğimi cisme etki eden kuvveti verir.

$$\text{Eğim} = tg\alpha = \frac{E_p}{h} = F = mg$$



Kuvvet- yol grafiklerinde şekildeki gibi değişken kuvvetlerde olabilir. Kuvvet-konum grafiğinde alanlar yapılan işi ve enerji değişimini gösterdiği için,

0-x konumları arasında $W_1 = +F \cdot x$

x-2x konumları arasında $W_2 = +\frac{3F \cdot x}{2}$

2x-3x konumları arasında $W_3 = +\frac{F \cdot x}{2}$

3x-4x konumları arasında $W_4 = -\frac{F \cdot x}{2}$

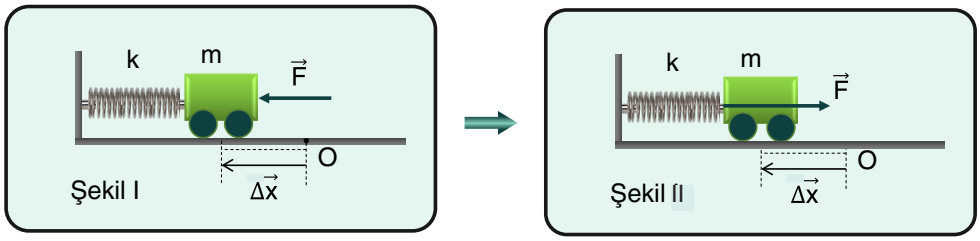
0-4x aralığında toplam (net) iş $W_{net} = \frac{5F \cdot x}{2}$ olur.

kadar iş yapıldığı görülür.

Yapılan işlerin tamamen kinetik enerji değişimine eşit olduğunu kabul edersek cismin konumlarına göre kinetik enerjileri de, (F • x = E ise)

Konumlar	Kinetik Enerji
x konumunda	E
2x konumunda	$E + (\frac{3E}{2}) = \frac{5E}{2}$
3x konumunda	$\frac{5E}{2} + \frac{E}{2} = 3E$
4x konumunda	$3E - \frac{E}{2} = \frac{5E}{2}$

Sarmal Yaylarda Kuvvet-Uzama/Sıkışma İlişkisi (Hooke Yasası)



Yay sabiti k olan bir yay sıkıştırılırken (ya da uzatılırken) yaya uygulanan kuvvetle yayın sıkışması (ya da uzaması) doğru orantılıdır.

$\vec{F} = k \cdot \Delta\vec{x}$

Yaya kuvvet uygulandığında yay üzerinde de yayı denge konumuna getirmeye çalışan geri çağrıcı kuvvet oluşur. Geri çağrıcı kuvvet, uygulanan kuvvete eşit büyüklükte ve zıt yönlüdür.

$\vec{F} = -k \cdot \Delta\vec{x}$

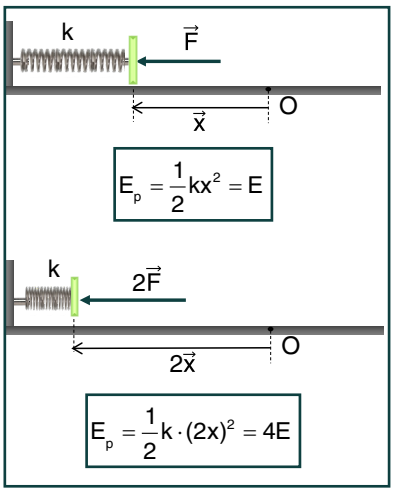
PÜF NOKTA

Kuvvet ifadesindeki (-) işaretinin nedeni geri çağrıcı kuvvet ile konum vektörünün zıt yönlü olmasıdır.

Kuvvet	0	F	2F	3F
Uzama/sıkışma miktarı	0	x	2x	3x

ESNEKLİK POTANSİYEL ENERJİSİ

Bir cisme kuvvet uygulanarak esnetilmesi ya da sıkıştırılması sırasında cisim üzerinde yapılan iş, cisme potansiyel enerji olarak aktarılır. Esnek cisimlerde depo edilen enerjiye **esneklik potansiyel enerjisi** adı verilir.

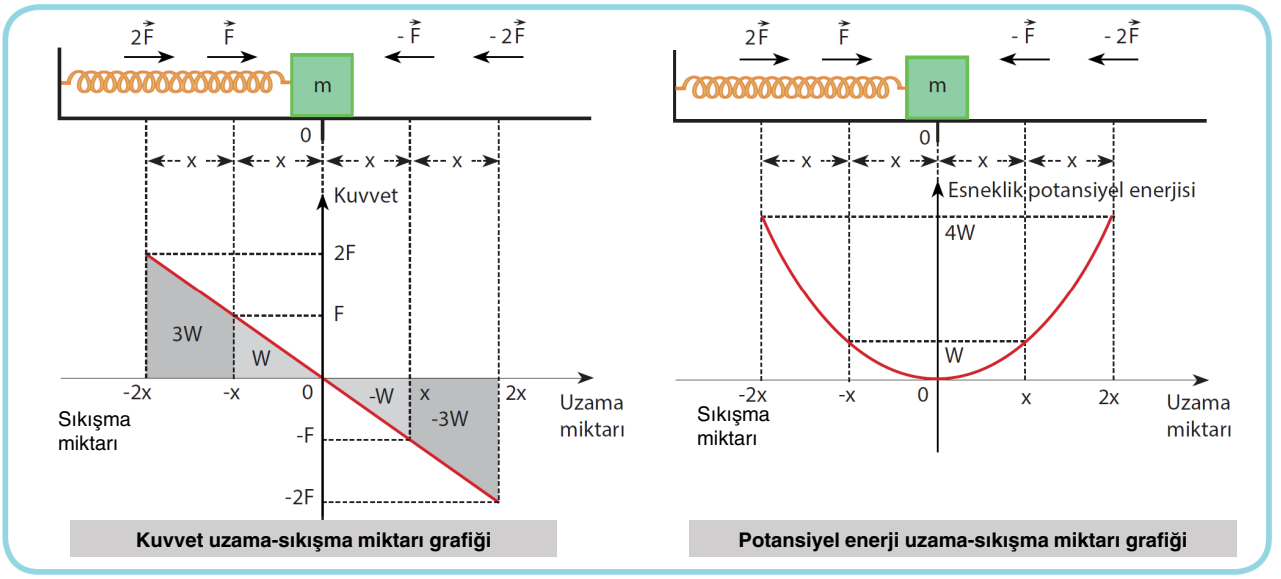


Şekil I'de yay sabiti k olan sarmal yayın serbest konumu O iken yayın önüne konulan m kütleli araba F kuvveti yayı x kadar sıkıştırdığında kuvvet bir iş yapmış olur ve bu iş yayda bir esneklik potansiyel enerjisi halinde depolanır.

Bu enerji; $E_p = \frac{1}{2}kx^2$ bağıntısı ile bulunur.

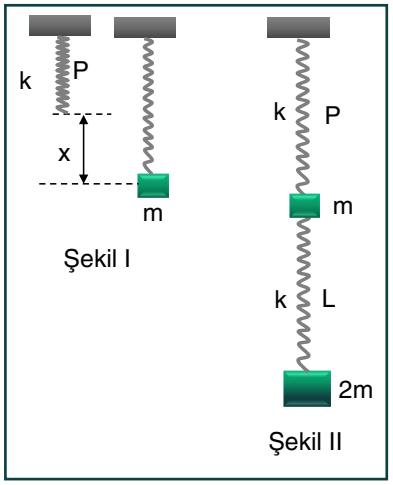
Not: Yayın sıkıştırılmasındaki kuvvet sıkışma özelliği, serbest yayın uzaması (gerginleştirilmesi) olayında da geçerlidir.

Sarmal Yaylarda Kuvvet-Uzama/Sıkışma ve Esneklik Potansiyel Enerjisi-Uzama/Sıkışma grafikleri



Kuvvet uzama-sıkışma miktarı grafiği

Potansiyel enerji uzama-sıkışma miktarı grafiği



Şekil I'de yay sabiti k olan, ağırlığı önemsiz P yayına m kütleli cisim asılınca yay x kadar uzamış ve E kadar potansiyel enerji kazanmış olsun.

$$E_p = \frac{1}{2}kx^2 = E$$

Şekil II'de özdeş P ve L yaylarına şekildeki gibi m ve 2m kütleleri asıldığında oluşan yeni denge durumunda yayların kazandığı enerjiler;

P yayı toplam m + 2m = 3m' lik kütlenin ağırlığı ile 3x kadar uzarken, L yayı ise 2m kütleli cismin ağırlığı ile 2x kadar uzayacaktır.

Bu durumda da yayların kazandığı enerjiler;

$$E_P = \frac{1}{2}k\cdot(3x)^2 = \frac{1}{2}k\cdot 9x^2 = 9E$$

$$E_L = \frac{1}{2}k\cdot(2x)^2 = \frac{1}{2}k\cdot 4x^2 = 4E$$

olacaktır.

ENERJİ KORUNUMU

MEKANİK ENERJİ VE KORUNUMU

- Trambolinde zıplayan çocuğun hareketinde çocuğun en üst noktada hızı ve kinetik enerjisi sıfır olur. Bu anda sahip olduğu mekanik enerji sadece yer çekimi potansiyel enerjisidir. (E_P = mg3h)
- Çocuk tramboline doğru düşerken her h kadar düşme sırasında yer çekimi potansiyel enerjisi mgh kadar azalır. Hava sürtünmeleri önemsenmezse mgh kadar kinetik enerjisi artar ve mekanik enerjisi yine korunmuş olur.

Çocuğun tramboline gelinceye kadar yer çekimi potansiyel enerjisi, kinetik ve mekanik enerji değerleri tablodaki gibidir.

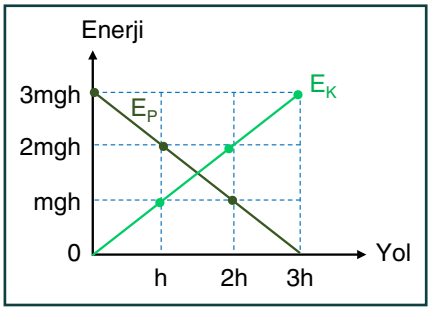
	Yer Çekimi Potansiyel enerjisi	Kinetik enerji	Mekanik enerji
P düzeyinde	mg3h	0	mg3h
L düzeyinde	mg2h	mgh	mg3h
N düzeyinde	mgh	mg2h	mg3h
K düzeyinde	0	mg3h	mg3h

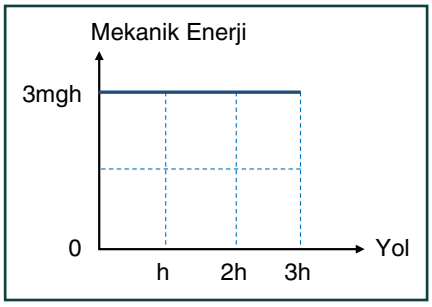
KRİTİK BİLGİ

Mekanik enerji bir cismin sahip olduğu kinetik ve yer çekimi potansiyel enerjilerinin toplamıdır.

$$E_{mekanik} = E_k + E_p$$

Trambolin üzerinde zıplama hareketi yapan çocuğa ait kinetik enerji, yer çekimi potansiyel enerjisi ve mekanik enerjinin yola bağlı değişim grafiklerini çizersek;

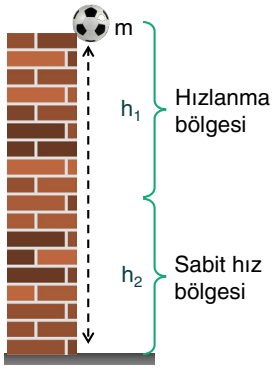




PÜF NOKTA

Sürtünme kuvvetlerinin ihmal edildiği bir sistemde yerçekimi kuvveti etkisi altında hareket eden cisimlere dışarıdan başka bir kuvvet etki etmiyorsa cismin mekanik enerjisi ($E_k + E_p$) değişmez. E_k ve E_p değerlerinden biri artarken diğeri azalır toplamları ise sabit kalır.

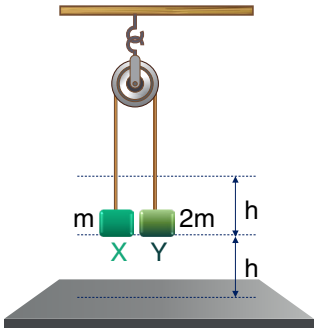
SÜRTÜNMELİ HAVA ORTAMINDA DÜŞME



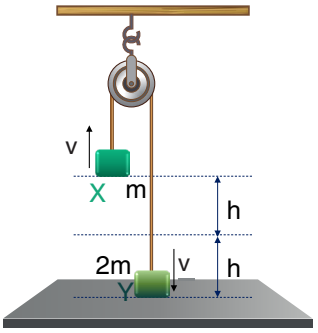
- Şekildeki kuleden serbest bırakılan top düşme süresince sahip olduğu yer çekimi potansiyel enerjisini kaybeder.
- Top bir süre hızlanır, topa etki eden hava direnci sebebiyle kaybettiği yer çekimi potansiyel enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşür.

- Hava direnç kuvveti topun ağırlığına eşit olduğu andan sonra topun hızı ve kinetik enerjisi sabit kalır ve hızın sabit kaldığı süre boyunca kaybedilen yer çekimi potansiyel enerjisi tamamen ısıya dönüşür.
- Mekanik enerji sürtünme nedeniyle sürekli azalır.

	Yer Çekimi Potansiyel enerjisi	Kinetik enerji	Isı	Mekanik enerji
Top hızlanırken	Azalır	Artar	Artar	Azalır
Top limit (sabit) hızla düşerken	Azalır	Değişmez	Artar	Azalır



Şekil I



Şekil II

Şekil I'de m ve 2m kütleli X ve Y cisimleri yerden h kadar yüksekteki konumlarında tutulurken yere göre sahip oldukları mekanik enerjileri potansiyel enerjileri toplamına eşit olup;

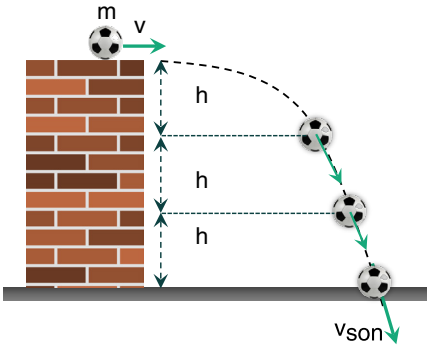
$\sum E = mgh + 2mgh = 3mgh$ kadardır.

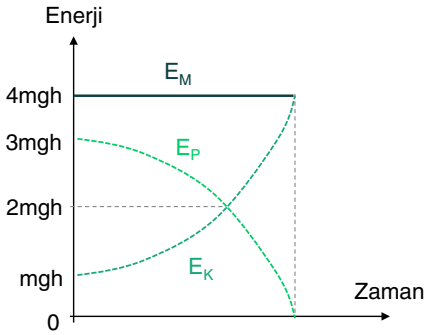
Şekil II'de cisimler serbest bırakıldığında m kütlesi h kadar yükselip v hızı kazandığında 2m kütleli cisim de h kadar düşüp yer seviyesine v hızı ile gelir. Sürtünmelerin önemsenmediği sistemde mekanik enerji korunumlu olduğu için cisimlerin bu anlarındaki enerjilerinin toplamı yine 3mgh kadar olmalıdır.

Bu durum;

$$\sum E = \underbrace{mg2h + \frac{1}{2}mv^2}_{\text{X cismi için}} + \underbrace{\frac{1}{2}2mv^2}_{\text{Y cismi için}} = 3mgh \text{ olarak yazılabilir.}$$

YATAY ATIŞ HAREKETİNDE MEKANİK ENERJİ





m kütleli top 3h yüksekliğindeki kuleden v ilk yatay hızı ile atıldığında sahip olduğu mekanik enerji,

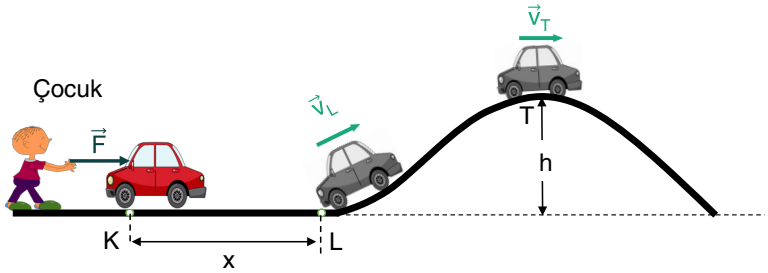
$E_{mekanik} = E_P + E_K \Rightarrow E_{mekanik} = mg3h + \frac{1}{2}mv^2$ olarak yazılır.

Bu toplam enerjinin 4mgh olduğunu varsayalım.

Top her h kadar düşme sırasında mgh kadarlık potansiyel enerjisi kaybederken (sürtünme kuvvetleri ihmal edilirse) kinetik enerjisi de mgh kadar artar. Mekanik enerji büyüklüğü yine 4mgh kadar olur.

DİKKAT

Sürtünme kuvvetleri nedeniyle ısıya dönüşen bir enerji yoksa sadece yerçekim kuvveti etkisindeki bütün atış hareketlerinde mekanik enerji korunumludur, değişmez.

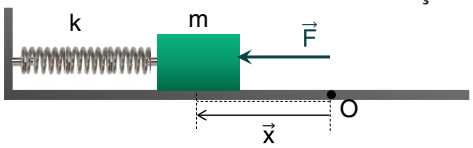


Çocuk m kütleli arabayı sürtünmesiz ortamda F kuvveti ile x kadar iterken bir iş yapar. Bu iş arabaya kinetik enerji olarak aktarılır. Araba kazandığı bu kinetik enerji ile çembersel yolun tepe noktasına $\vec{v}_T$ hızıyla ulaşırsa bu olayın iş-enerji dönüşümü;

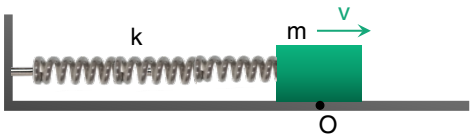
$$\underbrace{W = F \cdot x}_{\text{Kerem'in yaptığı iş}} = E_K = \underbrace{\frac{1}{2}m \cdot (v_L)^2}_{\text{Arabanın L'deki kinetik enerjisi}} = \underbrace{mgh + \frac{1}{2}m \cdot (v_T)^2}_{\text{Arabanın T'deki mekanik enerjisi}}$$

şeklinde yazılabilir.

SARMAL YAYLARDA ENERJİ DÖNÜŞÜMÜ



Şekil I



Şekil II

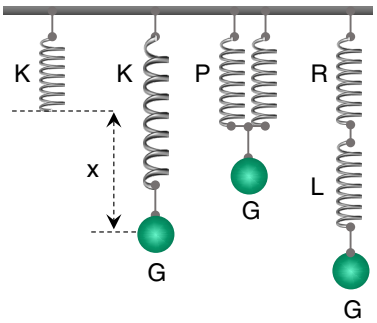
Şekil I'deki sarmal yayın sıkışmasını sağlayan F kuvveti kaldırılınca yay kendisinde depolanmış potansiyel enerjiyi önündeki m kütleli cismi hızlandırarak kinetik enerji kazanmasını sağlar.

Sürtünme kuvvetlerinin ihmal edildiği sistemde bu enerji dönüşümü olarak;

$E_P = \frac{1}{2}kx^2 = E_K = \frac{1}{2}mv^2$ şeklinde yazılabilir.

DİKKAT

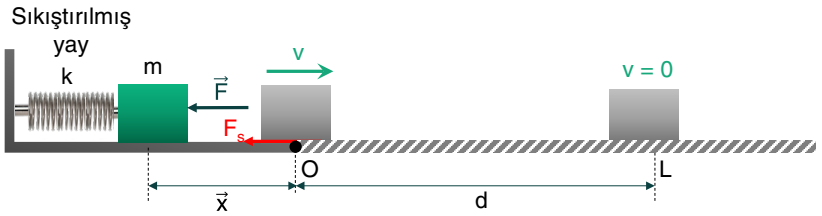
Yayı sıkıştıran kuvvet 2F yapılırsa yayın sıkışma miktarı 2x olurken yayda depolanan potansiyel enerji ve cisme aktarılan kinetik enerji dört katına çıkar.



G ağırlığı serbest K yayına asıldığında yay x kadar uzayıp denge oluştuğunda cismin G • x kadar potansiyel enerjisi azalırken, yayda E kadar esneklik potansiyel enerjisi depolanmaktadır.

G ağırlıkları, K ile özdeş diğer yay sistemlerine asılıp denge oluştuğunda yaylarda oluşan uzama, G ağırlığındaki potansiyel enerji azalması $\Delta\vec{E}_P$ ve yaylarda oluşan esneklik potansiyel enerjileri aşağıdaki tabloda gösterilmiştir. *(Yayların ağırlıkları önemsenmeyecektir.)*

	K yayında	P yayında	R yayında	L yayında
Uzama miktarı	x	$\frac{x}{2}$	x	x
Yaylarda oluşan E_P	E	$\frac{E}{4}$	E	E
G ağırlığında ΔE_P	G • x	$\frac{G \cdot x}{2}$	G • 2x	G • 2x



Şekilde sıkıştırılmış yay önündeki m kütleli cisim serbest bırakılınca yay kendisinde depolanmış potansiyel enerjiyi önündeki m kütleli cisme kinetik enerji olarak aktarır.

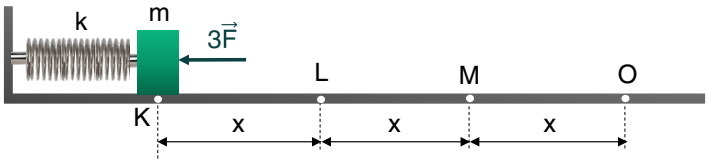
Sürtünme kuvvetlerinin olduğu OL yolunda sürtünme kuvvetlerinin yaptığı iş nedeniyle cisim tüm kinetik enerjisini kaybeder ve sistemde sürtünme kuvvetlerinin yaptığı iş nedeniyle ısı oluşur.

Sistemde bu enerji dönüşümü ilişkisi;

$E_P = \frac{1}{2}k \cdot x^2 = E_K = \frac{1}{2}m \cdot v^2 = W_{fs} = Q_{ısı} = F_s \cdot d$ şeklinde yazılabilir.

DİKKAT

Yatay zemindeki hareketli bir cisim sürtünme kuvvetleri sebebiyle yavaşlayıp duruyorsa cisimdeki kinetik enerji sistemde ısıya dönüşür. Cismin mekanik enerjisi azalırken sistemdeki toplam enerji sabit kalır



Denge konumu O noktası olan yayın önüne konulan m kütleli cisim üzerine 3F büyüklüğünde kuvvet uygulandığında yay 3x kadar sıkışıp yayda 9E kadarlık esneklik potansiyel enerjisi oluşmaktadır.

Buna göre;

Kuvvet kaldırıldığında cisim L, M ve O noktalarından geçerken sahip olacağı kinetik enerjileri, yayda kalan esneklik potansiyel enerjilerini ve sistemde toplam enerjileri bulalım.

(Sürtünme kuvvetleri nedeniyle oluşacak ısıyı önemsemiyoruz.)

	K noktasında	L noktasında	M noktasında	O noktasında
Yaylarda oluşan E_P	$9E = \frac{1}{2}k \cdot (3x)^2$	$4E = \frac{1}{2}k \cdot (2x)^2$	$E = \frac{1}{2}k \cdot (x)^2$	0
Cisimde oluşan E_K	0	5E	8E	9E
Toplam E_T	9E	9E	9E	9E

HATIRLAYALIM

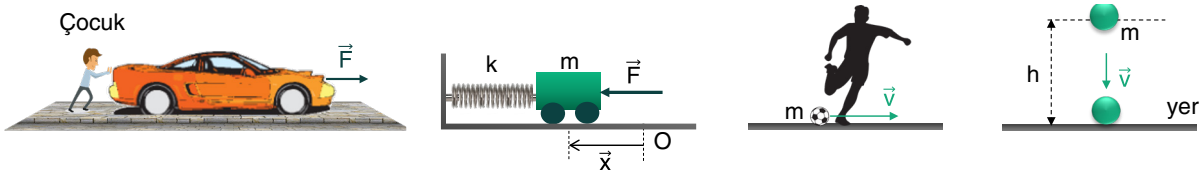
Esnek yay serbest ucundan sıkıştırılırken yayda,

- x kadar sıkıştırıldığında E
- 2x kadar sıkıştırıldığında 4E
- 3x kadar sıkıştırıldığında 9E

kadar esneklik potansiyel enerjileri oluşmaktadır.

İTME VE ÇİZGİSEL MOMENTUM ARASINDAKİ İLİŞKİ

İTME NEDİR?



Çocuk $\vec{F}$ kuvveti ile arabayı iterken, sıkıştırılmış bir yay önüne bırakılan araba yay tarafından itilirken, futbolcu yerde duran topa vururken, yerden h kadar yüksekteki bilye yer çekim kuvveti etkisinde hızlanırken her bir örnekte kuvvetler etki ettikleri cisimlere etki ettikleri süre boyunca **itme** uygularlar ve bu cisimlerde "itme"lerin etkisinde **hız değişimleri** meydana gelir.

Hareket yönündeki itme cismin hızını artıran, hareket yönüne ters yönlü itme ise cismin hızını azaltan etki yapar.

Newton'ın 2. hareket yasasına göre

$$\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta \vec{v}$$

bağıntısı yazılabilir.

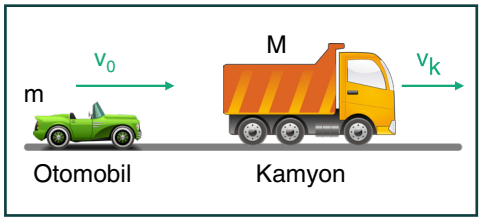
$\vec{F} \cdot \Delta t$ terimine itme denir.

* $\vec{I}$ ile gösterilir.
* Vektörel bir büyüklüktür.
* Birimi "Newton • saniye"dir.

ÇİZGİSEL MOMENTUM

Bir hareketlinin çizgisel momentumu; $\vec{P} = m \cdot \vec{v}$ bağıntısı ile hesaplanır.

Momentum vektörel bir büyüklüktür. Bir cismin sahip olduğu momentum, cismin kütlesi ve cismin hız büyüklüğü ile doğru orantılıdır.



Küçük kütleli otomobil ile büyük kütleli kamyonun momentumları

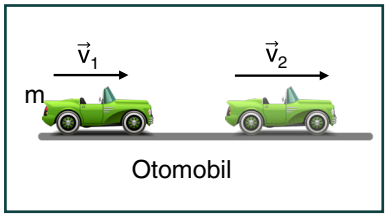
$v_o > v_k$ ise;

$P_{otomobil} = P_{kamyon}$

$m \cdot v_o = M \cdot v_k$

otomobil ve kamyonun momentumları eşit de olabilir.

MOMENTUM DEĞİŞİMİ



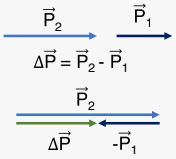
Hızı değişen bir otomobilin momentumu da değişir.

İlk momentum $\vec{P}_1 = m \cdot \vec{v}_1$

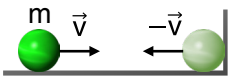
Son momentum $\vec{P}_2 = m \cdot \vec{v}_2$ olup momentum değişimi de;

$\Delta\vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1$ olur.

Not: Momentum değişimi vektörel işlemlerle yapılmalıdır.



MOMENTUM DEĞİŞİMİ ÖRNEKLERİ



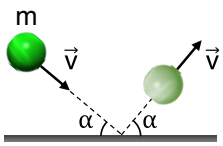
Duvara esnek çarpıp geri dönen bir cisimde momentum değişimi:

$\vec{P}_{ilk} = m\vec{v}$ $\quad$ $\vec{P}_{son} = -m\vec{v}$

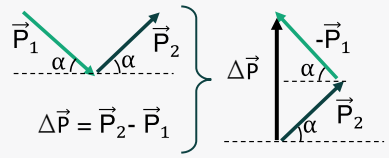
$\Delta\vec{P} = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk}$

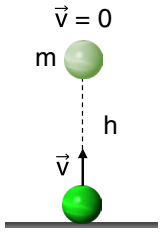
$-\vec{P}_{ilk}$ $\quad$ $\vec{P}_{son}$

$\Delta\vec{P} = -2mv$



Yere yatayla α açısı yapacak şekilde esnek çarpıp yerden sıçrayan bir cisimde momentum değişimi:





Yerden düşey yukarı yönde $\vec{v}$ hızıyla atılan bir cismin maksimum yüksekliğe çıktığında momentum değişimi:

$\vec{P}_2 = 0$

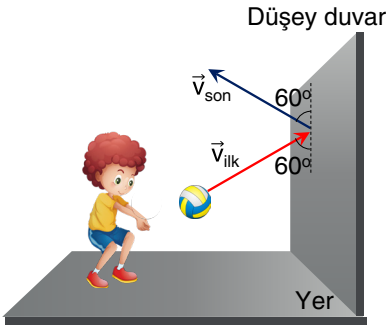
$\vec{P}_1 = mv$

$\Delta\vec{P} = \vec{P}_2 - \vec{P}_1$

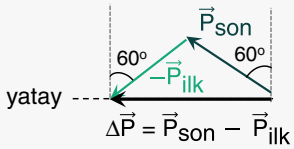
$\Delta\vec{P} = -\vec{P}_1$

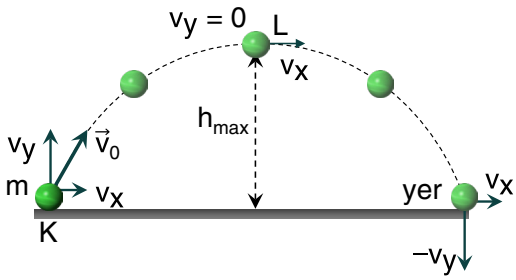
$= -m \cdot v$

$-\vec{P}_1$



Çocuğun topu duvara v hızıyla şekildeki gibi atması ve topun duvardan sıçraması sırasında topun momentumunda meydana gelen değişimi gösterelim.





* Eğik atış hareketinde cisme yatay yönde etkiyen bir kuvvet olmadığı için yatay hız vektörünün hem yön hem de büyüklüğünde bir değişme gözlenmez.

* Eğik atış hareketi yapan cismin hareket süresince momentum değişimi düşey yöndeki momentum değişimiyle açıklanabilir.

* Düşeyde ise;

Atılma anı: $\vec{P}_{ilk} = m \cdot \vec{v}_y$

Yere düşme anı: $\vec{P}_{son} = -m \cdot \vec{v}_y$

$\vec{P}_{son}$, $-\vec{P}_{ilk}$

$\Delta\vec{P} = \vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk}$

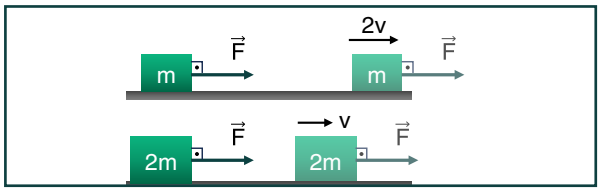
$\Delta\vec{P} = -2m \cdot \vec{v}_y$

İTME İLE MOMENTUM DEĞİŞİMİ İLİŞKİSİ

$$\vec{F}_{net} = m \cdot \vec{a} = m \cdot \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t}$$

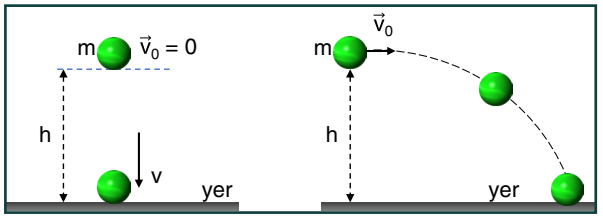
$$\vec{F} \cdot \Delta t = m \cdot \Delta\vec{v}$$

$$\underbrace{\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t}_{\text{İtme}} = \underbrace{m \cdot \Delta\vec{v} = \Delta\vec{P}}_{\text{Momentum değişimi}}$$



$\vec{F}$ kuvveti m ve 2m kütleli cisimlere eşit süre etki ettiğinde iki kuvvetin verdiği hem itme (F • t) değerleri hem de momentum değişimleri ($\Delta\vec{P}$) eşit olur.

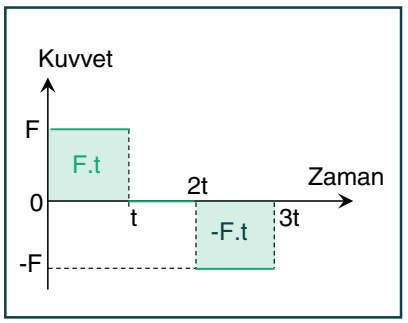
İki cismin t süre sonundaki momentum değişimleri eşit olurken hızları, ivmeleri ve t sürede aldıkları yollar farklı olur.



m kütleli bir cisim yerden h kadar yükseklikten serbest düşmeye bırakıldığında ya da yatay bir ilk hızla atıldığında iki olayda da itme ve momentum değişimleri birbirine eşittir.

Çünkü hareket süresince etki eden hem kuvvet (mg) hem de hareket süreleri (t) eşittir.

KUVVET-ZAMAN GRAFİĞİNDE İTME



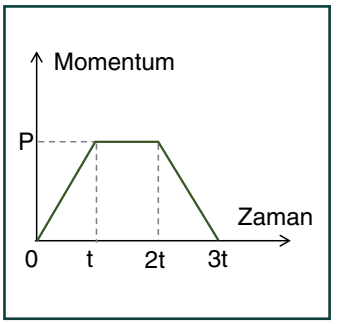
Kuvvet zaman grafiği verilen cisim durgun halden harekete geçiyor olsun.

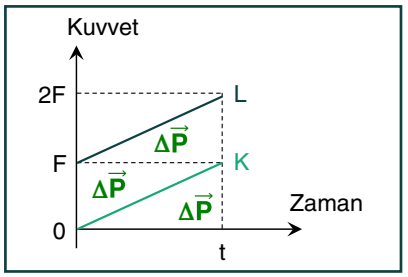
Kuvvet zaman grafiğinde alanlar itme ve momentum değişim büyüklüğünü gösterir.

* (0-t) arasında alan itme $\vec{I} = \vec{F} \cdot t = \Delta\vec{P}$

* (t-2t) arasında kuvvet ve itme sıfır (alan yok)

* (2t-3t) arasında ise negatif bir kuvvet ve negatif bir itme $\vec{I} = -\vec{F} \cdot t = -\Delta\vec{P}$ olduğu görülür.

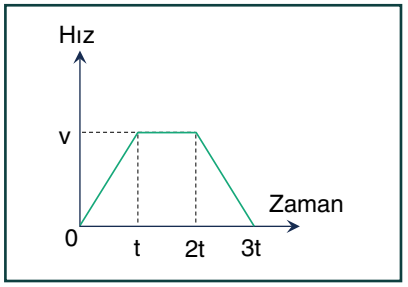




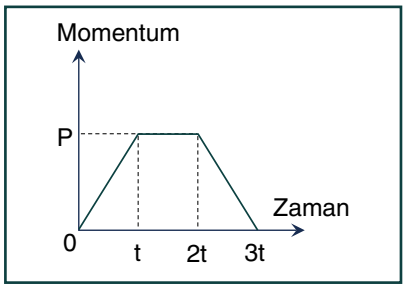
Durgun haldeki K ve L cisimlerine değişken iki kuvvet t süresince uygulanırken cisimlerin üzerindeki itme ya da momentum değişimi grafikteki alanlarla belirlenir.

0-t arasında K için alan = (itme); $\vec{I}_K = \vec{F} \cdot \frac{t}{2} = \Delta\vec{P}$

0-t arasında L için itme; $\vec{I}_L = 3\vec{F} \cdot \frac{t}{2} = 3\Delta\vec{P}$ olduğu görülür.



Sabit kuvvet etkisinde hareketin olduğu bölgelerde hız zamanla düzgün artar veya azalır.

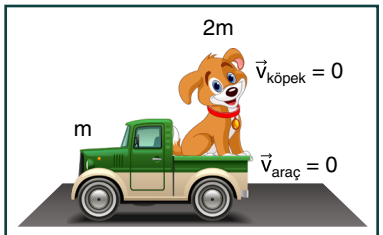


Hız-zaman grafiği ile momentum-zaman grafiği benzerdir.

ÇİZGİSEL MOMENTUMUN KORUNUMU (BİR BOYUTTA ÇARPIŞMALAR)

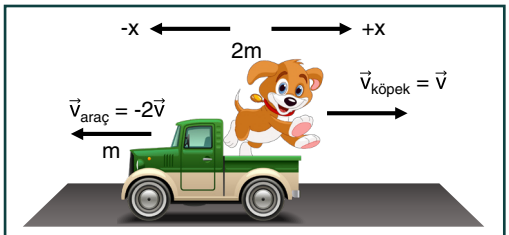
ÇİZGİSEL MOMENTUMUN KORUNUMU

Önce



Araç ve köpek durgun

Sonra



Köpek +x yönünde yere göre v hızıyla atlıyor.

KRİTİK BİLGİ

Net bir dış kuvvetin uygulanmadığı sistemlerde, sistem içindeki cisimlerin birbiriyle etkileşmesi ile sistemin çizgisel momentumu değişmez.

Sistemde; $\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$ olmalıdır.

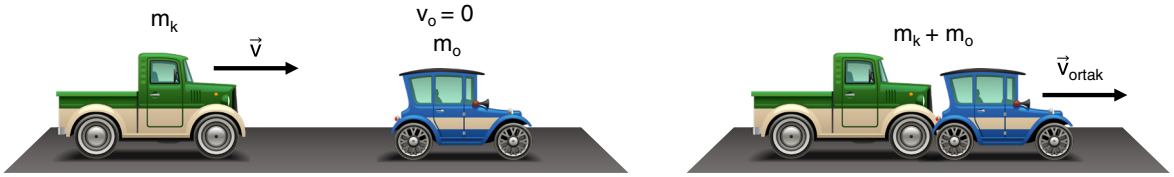
$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t = \Delta\vec{P}$

$\vec{F} = 0$ ise $\vec{P}_{son} - \vec{P}_{ilk} = 0$

$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$

Çizgisel Momentum Tüm Çarpışmalarda ve İç Patlamalarda Korunur.

a) Esnek olmayan çarpışma



Kamyon Otomobil

Olayda momentum korunumu;

$$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$$

$$\vec{P}_{ilk} = m_k \cdot v = \vec{P}_{son} = (m_k + m_0) \cdot \vec{v}_{ortak}$$

şeklinde yazılabilir.

- Kamyon $\vec{v}$ hızıyla hareket ederken önünde durmakta olan otomobille esnek olmayan çarpışma yaparsa çarpışma sonrası yapışarak (kenetlenerek) $m_k + m_o$ kütlesiyle ortak bir hızla hareket ederler.

* Çarpışmada araçlara dışarıdan bir kuvvet etki etmediği sürece sistemde toplam momentum korunur.

- Bu tür çarpışmada bir miktar mekanik enerji ısı, ses vb. enerjilere dönüşür.

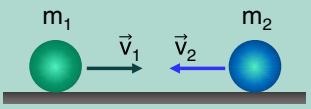
KRİTİK BİLGİ

Çarpışmada ısıya dönüşen enerji;

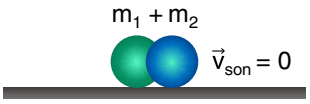
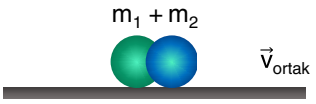
$E_{ısı} = E_{ilk} - E_{son}$ ile bulunur.

$$E_{ilk} = \frac{1}{2} m_k \cdot v^2$$

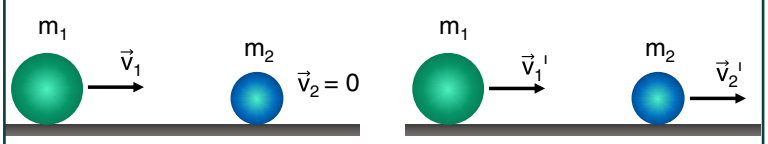
$$E_{son} = \frac{1}{2}(m_k + m_0) \cdot (v_{ortak})^2$$



Çarpışma öncesi

 Çarpışma sonrası	 Çarpışma sonrası
$m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$ ise $\vec{P}_{ilk} = 0$ olup $\vec{P}_{son} = 0$ olacağı için m_1 ve m_2 çarpışma sonrası kenetlenerek dururlar.	m_1 ve m_2 çarpışma sonrası kenetlenerek $\vec{v}_{ortak}$ hızıyla hareket ederler. Cisimlerin ortak hızı; $\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$ $m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = (m_1 + m_2) \cdot \vec{v}_{ortak}$ m_1 kütleli cismin hareket yönü pozitif, m_2 kütleli cismin hareket yönü negatif olduğundan eşitlik; $m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = (m_1 + m_2) \cdot v_{ortak}$ olarak yazılır.

b) Esnek Çarpışma



Çarpışma öncesi Çarpışma sonrası

Aynı doğrultuda iki kütle birbirine yapışmadan çarpışıyorsa bu tür çarpışmalar bir boyutta merkezi, esnek çarpışmalar olarak adlandırılır. Çarpışmada enerji korunumu ve momentum korunumu geçerlidir.

$$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$$

$$m_1 \cdot \vec{v}_1 = m_1 \cdot \vec{v}_1' + m_2 \cdot \vec{v}_2'$$

m_1 kütlesinin çarpışmadan önceki ve sonraki hareket yönü ile m_2 kütlesinin çarpışmadan sonraki hareket yönü pozitif olduğundan eşitlik;

$$m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

olarak yazılır.

Çarpışmadan önce m_1 ve m_2 kütleli cisimlerin toplam kinetik enerjisi, çarpışmadan sonraki toplam kinetik enerjilerine eşittir. Çarpışmadan önce m_1 kütleli cismin kinetik enerjisi E_1, m_2 kütleli cismin kinetik enerjisi E_2; çarpışmadan sonra m_1 kütleli cismin kinetik enerjisi E_1', m_2 kütleli cismin kinetik enerjisi E_2' ise;

$$E_1 + E_2 = E_1' + E_2'$$

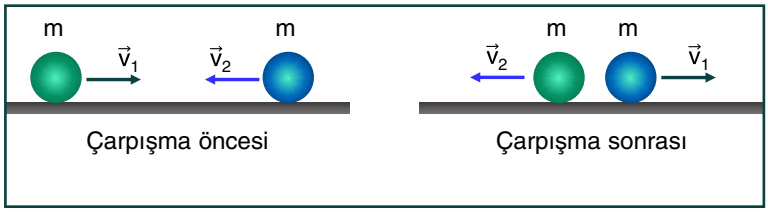
$$\frac{1}{2}m_1 \cdot v_1^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot v_2^2 = \frac{1}{2}m_1 \cdot \left(v_1'\right)^2 + \frac{1}{2}m_2 \cdot \left(v_2'\right)^2$$

Enerji ve çizgisel momentum korunumu denklemleri düzenlenirse

$\vec{v}_1 + \vec{v}_1' = \vec{v}_2 + \vec{v}_2'$ bulunur.

Buna göre m_1 kütleli cismin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının vektörel toplamı, m_2 kütleli cismin çarpışmadan önceki ve sonraki hızlarının vektörel toplamına eşittir.

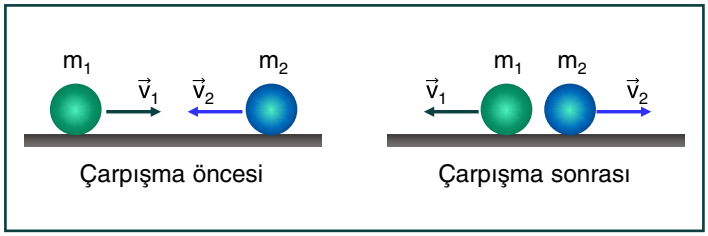
Özel Durumlar 1



Cisimlerin kütleleri eşitse çarpışma sonrası hızlarını değiştirirler (takas ederler).

Özel Durumlar 2

İki cisim momentumları eşit büyüklükte ve zıt yönde esnek çarpışma yaparlarsa cisimler kendi hızları ile geri dönerler.



$m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2$

Çarpışmadan sonra kendi hızlarının büyüklüğündeki hızlarla geri dönerler.

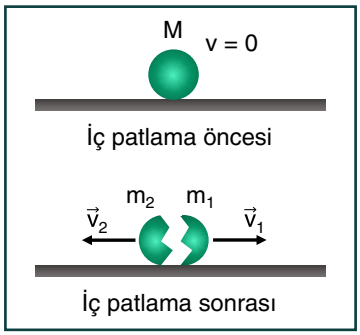
$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son} = 0$

$m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2$

KRİTİK BİLGİ

Bütün esnek çarpışmalarda enerji korunumu ve momentum korunumu geçerlidir.

c) İç patlama olaylarında



$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son} = 0$

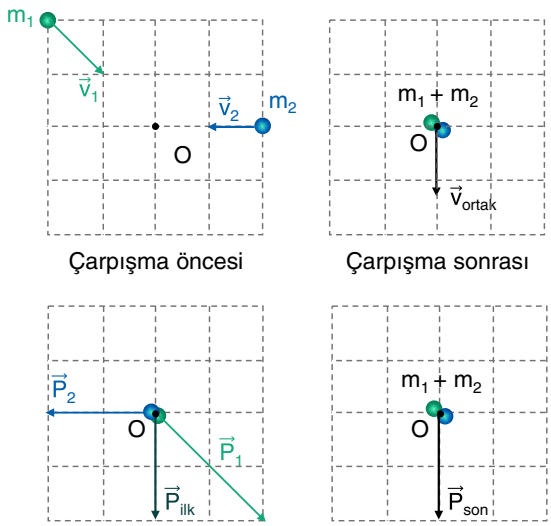
$\vec{P}_{son} = m_1 \cdot \vec{v}_1 + m_2 \cdot \vec{v}_2 = 0$

$m_1 \cdot \vec{v}_1 = -m_2 \cdot \vec{v}_2$

$m_1 = m_2$ ise $v_1 = v_2$

$m_1 > m_2$ ise $v_1 < v_2$ olur.

ÇİZGİSEL MOMENTUMUN KORUNUMU (İKİ BOYUTTA ÇARPIŞMALAR VE PATLAMALAR)



Çarpışma öncesi

Çarpışma sonrası

$\vec{P}_1 = m_1 . \vec{v}_1$
$\vec{P}_2 = m_2 . \vec{v}_2$
$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2$

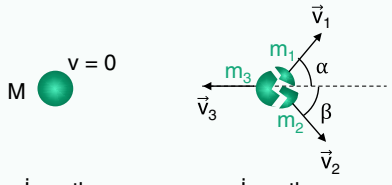
$\vec{P}_{son} = (m_1+m_2) . \vec{v}_{ortak}$
$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$

Aynı düzlemdeki m_1 ve m_2 kütleli cisimler $\vec{v}_1$ ve $\vec{v}_2$ hızları ile hareket edip O noktasında esnek olmayan çarpışma yaparak kenetlenmiş, çarpışma sonrası da $\vec{v}_{ortak}$ hızıyla harekete devam etmektedirler.

DİKKAT

Esnek olmayan çarpışmalarda momentum korunumu varken enerji korunumu yoktur.

Yatay bir zeminde durgun cismin iç patlama sonucu aynı düzlemde üç parçaya ayrılması



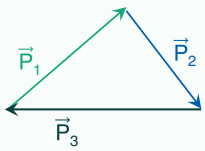
İç patlama öncesi

İç patlama sonrası

$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son} = 0$

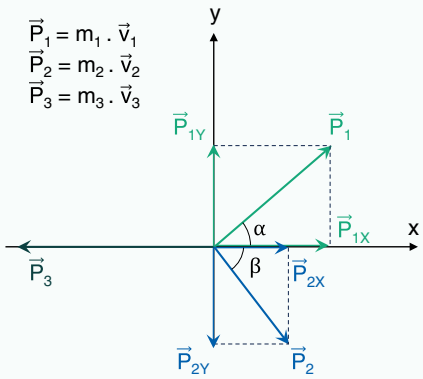
İç patlama öncesi durgun olan cismin momentumu sıfırdır.
İç patlama sonrası üç parçaya ayrılan parçaların da son momentum vektörlerinin toplamı sıfır olmalıdır.

$\vec{P}_1 = m_1 . \vec{v}_1$
$\vec{P}_2 = m_2 . \vec{v}_2$
$\vec{P}_3 = m_3 . \vec{v}_3$



$\vec{P}_{son} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3 = 0$ olmalıdır.

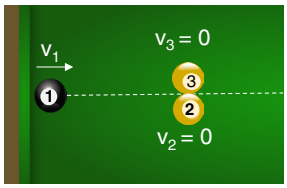
$\vec{P}_1 = m_1 . \vec{v}_1$
$\vec{P}_2 = m_2 . \vec{v}_2$
$\vec{P}_3 = m_3 . \vec{v}_3$



$\vec{P}_3 = -(\vec{P}_{1X} + \vec{P}_{2X})$

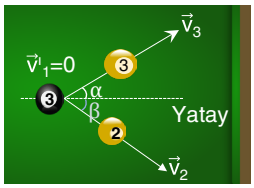
$\vec{P}_{2Y} = -\vec{P}_{1Y}$ eşitlikleri gerçekleşir ve

$\vec{P}_{son} = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3 = 0$ olur.



Çarpışma öncesi

$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_1$

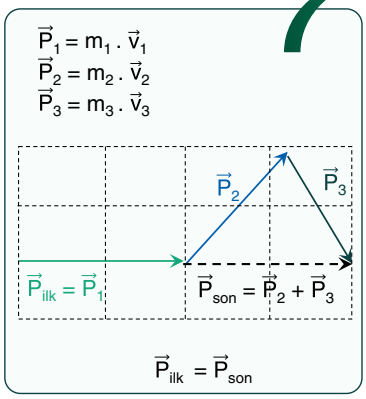


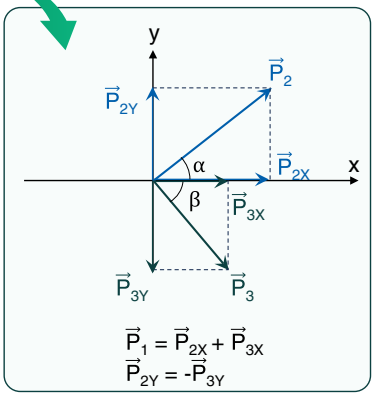
Çarpışma sonrası

$\vec{P}_{son} = \vec{P}_2 + \vec{P}_3$

1 no'lu bilardo topu, $\vec{v}_1$ hızı ile hareket ederek özdeş durgun 1 ve 2 no'lu bilardo toplarına çarpmaktadır. Çarpışma sonrası 1 no'lu top durgun hale geçerken 2 ve 3 no'lu toplarda şekildeki gibi $\vec{v}_2$ ve $\vec{v}_3$ hızları ile saçılmıştır.

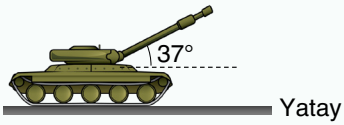
veya



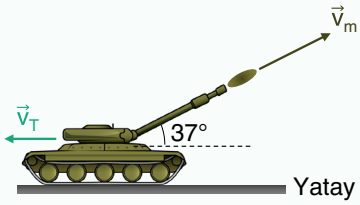


1 no'lu topun ilk momentumu yatay yönde $\vec{P}_1$'dir.

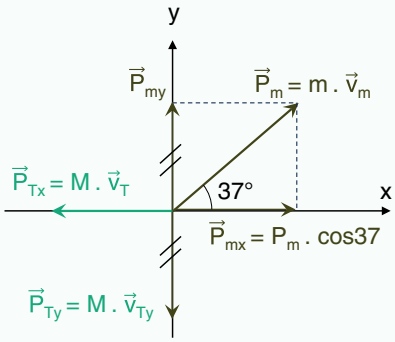
Çarpışma sonrası 2. ve 3. topların momentumlarının yatay bileşenlerinin toplamı $\vec{P}_1$'e eşit olmalıdır. Düşey yönde bir ilk momentum olmadığı için son durumda iki düşey momentum bileşeni birbirine eşit olmalıdır ki düşeyde toplam momentum da sıfır olsun.



M kütleli tank m kütleli bir adet mermisi ile hareketsiz durmaktadır.



Tank m kütleli mermiyi $\vec{v}_m$ hızıyla fırlattığında kendi de yatayda $\vec{v}_T$ hızı kazanmaktadır.



$\vec{P}_{Tx} = \vec{P}_{mx}$

$M . \vec{v}_T = P_m . \cos37$

Tank ve mermi başlangıçta durgun olduğu için sistemde ilk momentum sıfırdır. Momentum korunumuna göre son momentum da sıfır olmalıdır.

Tankın hareketi yatayda olduğu için tanka yatay yönde itmeyi veren de m kütleli merminin momentumunun yatay bileşenidir.

Bu durum,

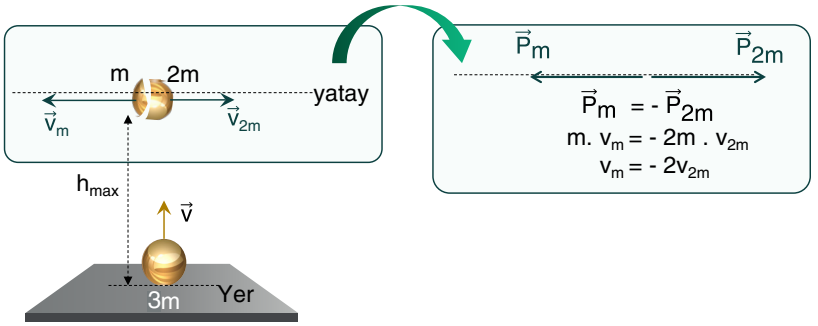
$$\vec{P}_T = -\vec{P}_{mx}$$

$$m \cdot v_T = P_m \cdot \cos37^o$$

şeklinde yazılabilir.

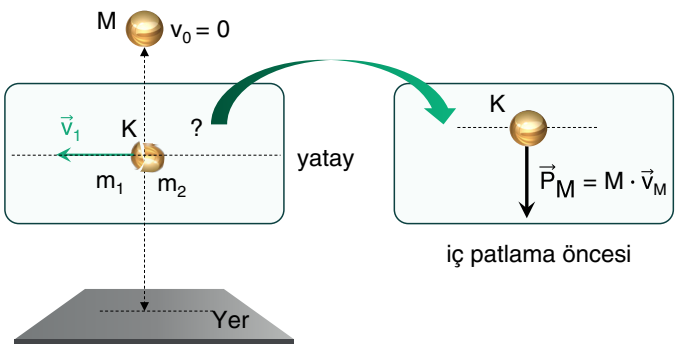
KRİTİK BİLGİ

Tankın düşeyde oluşan $\vec{P}_{Ty}$ momentumu yerin tepkisi ile dengelendiği için bu yönde hareket gözlenmez.



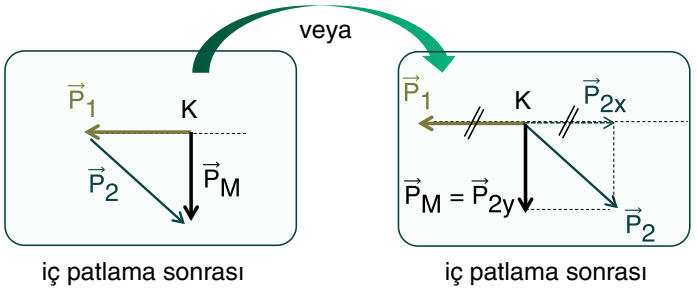
Aşağıdan yukarıya doğru atılan 3m kütleli bir cismin çıkabileceği maksimum yükseklikte iç patlamaya uğrayıp iki parçaya ayrılması

Cismin iç patlamaya uğraması cismin çıkabileceği maksimum yükseklikte gerçekleştiği için parçalanma öncesi hızı ve momentumu sıfırdır. Momentum korunumu gereğince ayrılan parçaların da momentumlarının da bileşkesi sıfır olmalıdır.



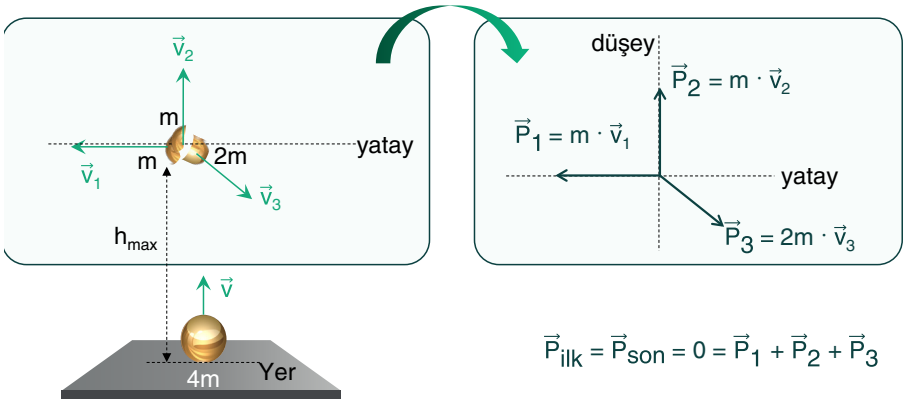
h yüksekliğindeki bir noktadan serbest düşmeye bırakılan M kütleli cismin K noktasına ulaştığında iç patlama sonucu iki parçaya ayrılması.

Parçalardan biri (m_1) patlama sonrası $\vec{v}_1$ hızıyla şekildeki gibi yatay atış hareketi yapıyorsa m_2 kütleli parçanın hareket yönünü bulalım.



İkinci parçanın momentum vektörü $\vec{P}_2$ şekildeki gibi oluşur. $\vec{P}_2$ ile $\vec{P}_1$ vektörlerinin bileşkesi alındığında iç patlama öncesindeki $\vec{P}_M$ vektörüne eşit olmalıdır.

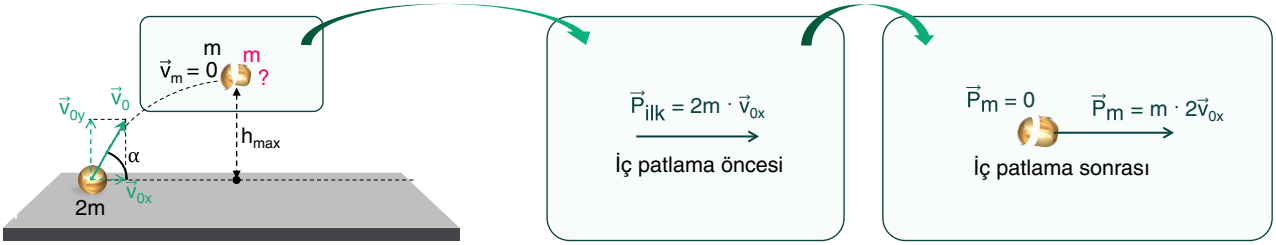
m_2 kütleli parça iç patlama sonunda aşağı yönde eğik atış hareketi yapacaktır.



$$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son} = 0 = \vec{P}_1 + \vec{P}_2 + \vec{P}_3$$

Aşağıdan yukarıya doğru atılan 4m kütleli bir cismin çıkabileceği maksimum yükseklikte iç patlamaya uğrayıp m, m ve 2m' lik üç parçaya ayrılması.

Cismin iç patlamaya uğraması cismin çıkabileceği maksimum yükseklikte gerçekleştiği için parçalanma öncesi hızı ve momentumu sıfırdır. Momentum korunumu gereğince ayrılan parçaların da momentumlarının da bileşkesi sıfır olmalıdır.



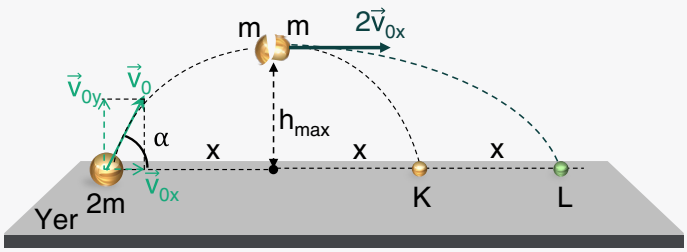
$\vec{v}_0$ hızıyla eğik atış hareketine başlatılan 2m kütleli bir cismin maksimum yüksekliğe ulaştığı anda iç patlamaya uğraması ve iki parçaya ayrılması.

Parçalardan m kütleli olan serbest düşme yaparsa diğer m kütleli parçanın hızını ve yörüngesini bulalım.

3m kütleli bir cisim maksimum yüksekliğe ulaştığı anda düşey yönde hızı sıfır olurken yatay yönde $\vec{v}_{0x}$ hızı vardır. Bu andaki momentumu da yatay yönde $\vec{P}_{ilk} = 2m \cdot v_{0x}$ kadardır.

Momentum korunumuna göre iç patlama sonucu oluşan parçaların momentumlarının bileşkesi de $\vec{P}_{ilk} = 2m \cdot v_{0x}$ kadar olmalıdır. Parçalardan biri serbest düştüğüne göre diğer parça $2\vec{v}_{0x}$ hızıyla yatay atış hareketi yapar.

HATIRLAYALIM



Eğik atış hareketi yapan cismin maksimum yüksekliken sonra yaptığı hareket yatay atış hareketidir. Cisim iç patlamaya uğramasaydı v_{ox} hızıyla K noktasına düşmesi gerekirdi . İç patlama sonucu parçalardan biri serbest düşme hareketi yapınca diğer yarısı momentumu korumak için $2v_{ox}$ hızıyla yatay atış hareketi yapar ve L noktasında yere düşer.

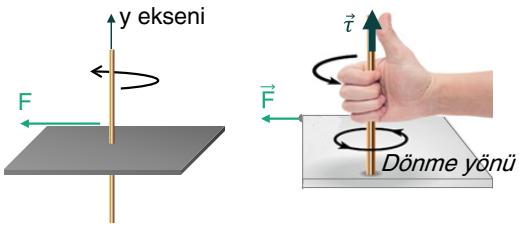
TORK

Kuvvetlerin döndürücü etkisine **tork** denir. Bir F kuvvetinin cisme vereceği torkun matematiksel ifadesi;

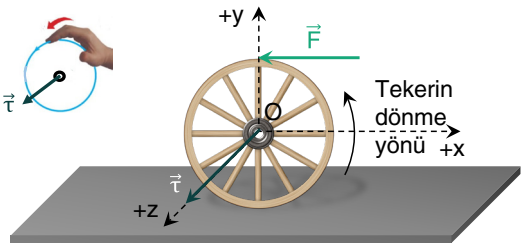
$$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F} \text{ dir.}$$

Bağıntıdaki ifadeler bir vektörel çarpım ifadesi olup $\vec{F}$ ve $\vec{d}$ vektörlerinin yönlerine dik üçüncü bir tork vektörü ($\vec{\tau}$) yönü oluşur. Bu nedenle tork vektörel bir büyüklüktür ve $\vec{\tau}$ ile gösterilir. Tork vektörünün yönü sağ el kuralı ile bulunur. Dört parmak dönme yönünde olacak şekilde cisim avuç içine alınır. Açılan başparmak yönü de tork vektörünün yönünü gösterir.

x ekseni çevresinde döndürülen silindirde tork vektörünün yönünün bulunması (Baş parmak -x yönünü göstermektedir.)



y ekseni çevresinde döndürülen levhada tork vektörünün yönünün bulunması (Baş parmak +y yönünü göstermektedir.)



Dört parmak tekerin dönme yönünü gösterecek şekilde teker dıştan avuç içine alınırsa $\vec{\tau}$ vektörünün yönü de baş parmağın yönü +z yönünde olur. Bu yön sayfa düzlemine dik yönü dışarı doğru olan yön olarak da tanımlanabilir ve ⊙ sembolü ile gösterilir.

Yön sayfa düzleminden içeri doğru olursa (-z yönü) ve ⊗ sembolü ile gösterilir.

! DİKKAT

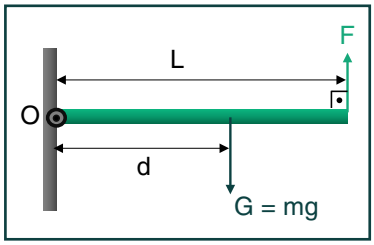
Tork vektörel bir büyüklüktür. Tork vektörünün yönü sağ el kuralı ile bulunur.

TORK'UN BÜYÜKLÜĞÜ NASIL BULUNUR?

Tork büyüklüğü cisim üzerindeki seçilen bir noktaya göre bulunur. Bağıntıdaki d kuvvet doğrultusu ile seçilen nokta arasındaki dik uzaklık olup torkun büyüklüğü de;

$$\tau = F \cdot d$$

bağıntısı ile bulunur. Torkun birimi Newton·metre'dir.



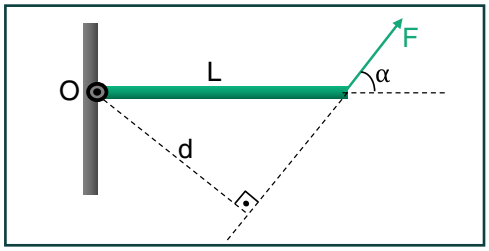
F kuvvetinin O noktasına göre torku,

$$\tau_1 = F \cdot L \text{'dir.}$$

Cismin ağırlığı (mg)'nin yine O noktasına göre torku

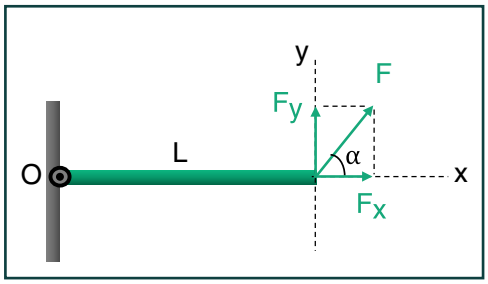
$$\tau_2 = mg \cdot d$$

şeklinde yazılabilir.



F kuvvetinin O noktasına göre torku $\tau = F \cdot d$

Burada d uzaklığının kuvvet doğrultusuna O noktasından çizilen bir dikmenin uzunluğu olduğuna dikkat etmek gerekir.

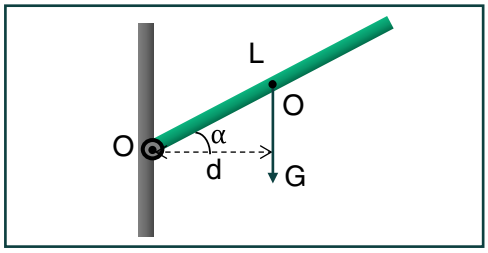


F kuvvetinin O noktasına göre torkunu hesaplamak için bir diğer yöntem de F kuvvetini bileşenlerine ayırıp çubuğa dik bileşen olan F_y'nin vereceği tork $\tau = F_y \cdot L$ şeklindedir.

F_x kuvvetinin doğrultusu O noktasından geçtiği için dik uzaklık oluşmaz. F_x'in O noktasına göre torku da sıfır olur.

PÜF NOKTA

Bir kuvvetin doğrultusu tork alınan nokta üzerinden geçiyorsa kuvvetin o noktaya göre torku (döndürücü etkisi) oluşmaz.



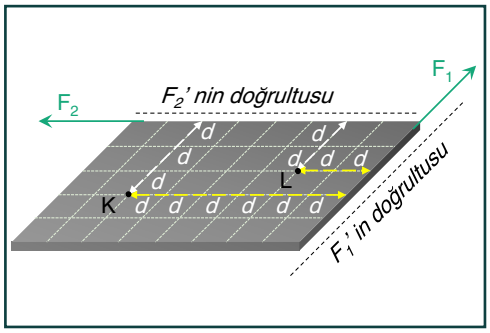
L uzunluğundaki çubuğun ağırlığı (G)'nin O noktasına göre torku

$$\tau = G \cdot d$$

şeklindedir.

NOT

d uzunluğu L cinsinden $d = \frac{L}{2} \cdot \cos\alpha$ olarak yazılabilir.



F_2 kuvvetinin K noktasına ve L noktasına göre oluşturacağı tork etkisinin büyüklüğü,

K'ye göre..... $\tau_K = F_2 \cdot 2d$,

L'ye göre..... $\tau_L = F_2 \cdot 3d$'dir.

Aynı şekilde F_1 kuvvetinin K noktasına ve L noktasına göre oluşturacağı tork etkisinin büyüklüğü,

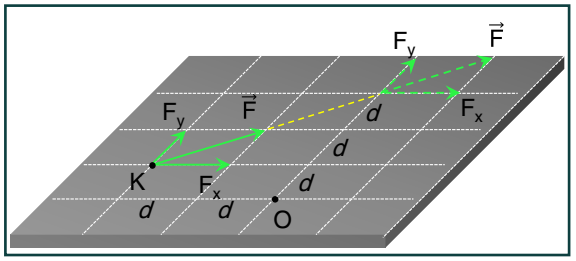
K'ye göre..... $\tau_K = F_1 \cdot 2d$,

L'ye göre ..... $\tau_L = F_1 \cdot 6d$'dir.

NOT

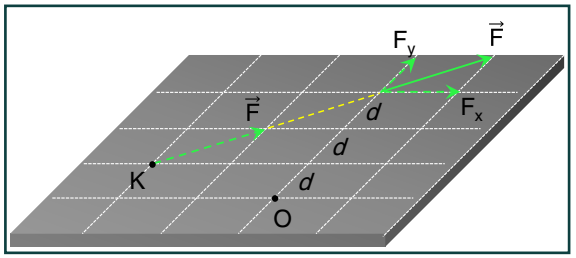
Kullandığımız uzaklıklar kuvvetlerin doğrultusuna seçilen noktalardan çizilen dikmelerin uzunluğudur.

Şekildeki levhanın K noktasına aynı düzlemde etki eden $\vec{F}$ kuvvetinin O noktasına göre oluşturacağı tork için üç farklı yaklaşım olabilir.



1. $\vec{F}$ kuvveti etki ettiği noktada bileşenlerine ayrılırsa F_x ve F_y birer birim (her birine F diyelim) olur. F_x'in O'ya dik uzaklığı d, F_y'nin O'ya dik uzaklığı 2d olur. Bu iki kuvvet bileşeni levhayı aynı yönde döndürmeye zorladığı için $\vec{F}$'nin O'ya göre toplam tork büyüklüğü;

$\tau_{toplam} = F \cdot d + F \cdot 2d = 3F \cdot d$ olur.

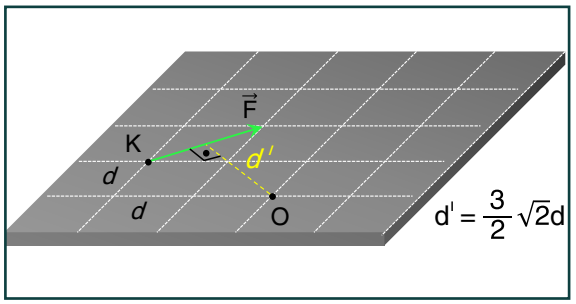


2. $\vec{F}$ kuvveti üç köşegen kendi doğrultusunda ötelenirse ve bu noktada bileşenlerine ayrılırsa yine F_x ve F_y birer birim olur.

Bu bileşenlerden biri olan F_y'nin doğrultusu O noktasından geçtiği için tork oluşturmaz.

F_x'in tork büyüklüğü ise,

$$\tau = F_x \cdot 3d = F \cdot 3d = 3F \cdot d \text{ olur.}$$



3. $\vec{F}$ kuvveti bileşenlerine ayrılmadan O noktasından bu kuvvete bir dik çizilirse bu uzaklık $d' = \frac{3}{2}\sqrt{2}d$ olur.

Kuvvetin bileşenlerini F büyüklüğü kabul ettiğimiz için $\vec{F}$'nin büyüklüğü de $\sqrt{2}F$ olur.

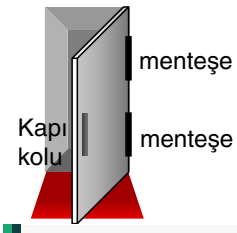
$\vec{F}$ kuvvetinin O noktasına göre tork büyüklüğü de,

$\tau = \sqrt{2}F \cdot \frac{3}{2}\sqrt{2}d = 3F \cdot d$ olacaktır.

KRİTİK BİLGİ

Bir kuvvetin tork etkisi hesaplanırken kuvvet, doğrultusu üzerinde istenildiği kadar ötelenerek istenilen noktaya göre tork büyüklüğü hesaplanabilir.

Bir kuvvetin etki ettiği cisim üzerindeki tork etkisinin artırılması kuvvetin dönme noktasına olan dik uzaklığının artırılması ile sağlanır.



(a)

Kapıların açma kolunun dönme ekseninden en uzak noktaya yerleştirilmesi

(b)

Otobüslerin direksiyonlarının büyük yapılması

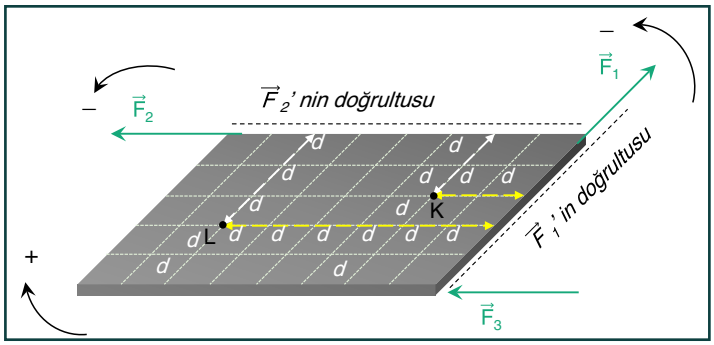
(c)

Bir vidanın sıkıştırılması için anahtar kullanılması

(d)

El arabasının kollarının uzun tutulması

TOPLAM (NET YA DA BİLEŞKE) TORK



Bir noktaya göre kuvvetlerin toplam torku sorulduğunda önce kuvvetlerin döndürme etkisinin yönleri (saat yönünde ya da saatin ters yönünde) gösterilir.

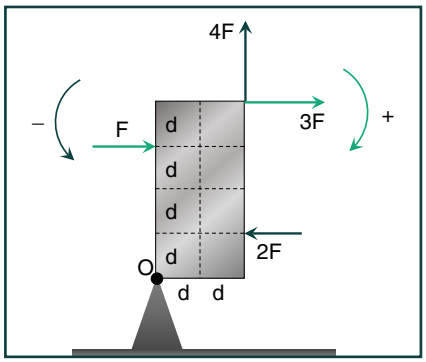
Aynı yönde olan torklar toplanır ters yönde olan torklar çıkarılır.

K noktasına göre; $\sum \tau = -F_1 \cdot 2d - F_2 \cdot 2d + F_3 \cdot 3d$

L noktasına göre; $\sum \tau = -F_1 \cdot 6d - F_2 \cdot 3d + F_3 \cdot 2d$

şeklinde yazılır.

Destek üzerinde O noktası çevresinde dönebilen levhaya aynı düzlemdeki F, 2F, 3F ve 4F büyüklüğündeki kuvvetler şekildeki gibi uygulanmıştır. Levha üzerindeki kuvvetlerin O noktasına göre oluşturdukları toplam torkun büyüklüğünü ve yönünü bulalım.



O noktasına göre F ve 3F kuvvetleri levhayı + yönde 2F ve 4F kuvvetleri ise levhayı – yönde döndürmeye zorlar.

+ yöndeki tokların toplamı $\sum \vec{\tau} = F \cdot 3d + 3F \cdot 4d = 15F \cdot d$ kadardır.

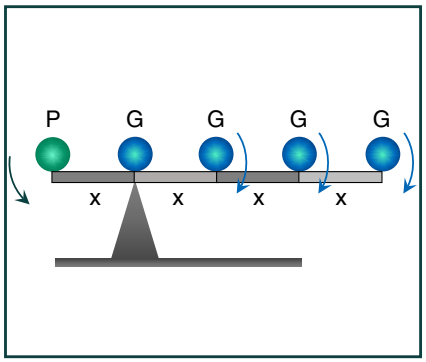
– yöndeki tokların toplamı $\sum \vec{\tau} = 2F \cdot d + 4F \cdot 2d = 10F \cdot d$ kadardır.

O noktasına göre toplam tork $\sum \vec{\tau} = +15F \cdot d - 10F \cdot d = +5F \cdot d$ olur.

+ işaretli toplam tork, dönme yönünü gösterir. Tork vektörünün yönü ise sağ el kuralı ile sayfa düzlemine dik içeri doğru (⊗) olur.

TORK DENGESİ

Bir cisim üzerindeki kuvvetlerin bir noktaya göre toplam torku sıfır olabilir. Bu duruma **tork dengesi** denir ve cisim bu durumda dönme hareketi yapamaz.



Herbiri G ağırlıklı 4 küre ağırlığı ihmal edilen çubuk üzerinde P ağırlığı ile dengelenmiş olsun.

G ağırlıklarının en uçtan başlayarak (desteğin çubuğa değdiği noktaya göre) çubuğa verdikleri torklar ve bunların toplamı,

$\sum \tau = G \cdot 3x + G \cdot 2x + G \cdot x = 6G \cdot x$ kadardır.

Bu toplam tork büyüklüğünü de P ağırlığının oluşturacağı ters yöndeki tork etkisi ile dengeleyebilir.

$$P \cdot x = 6G \cdot x$$

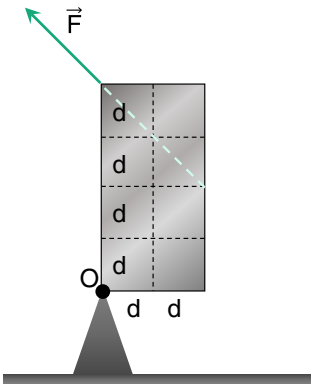
$$P = 6G$$

DİKKAT

$$\vec{\tau} = P \cdot x = -\vec{\tau}_{3G} = 6G \cdot x$$

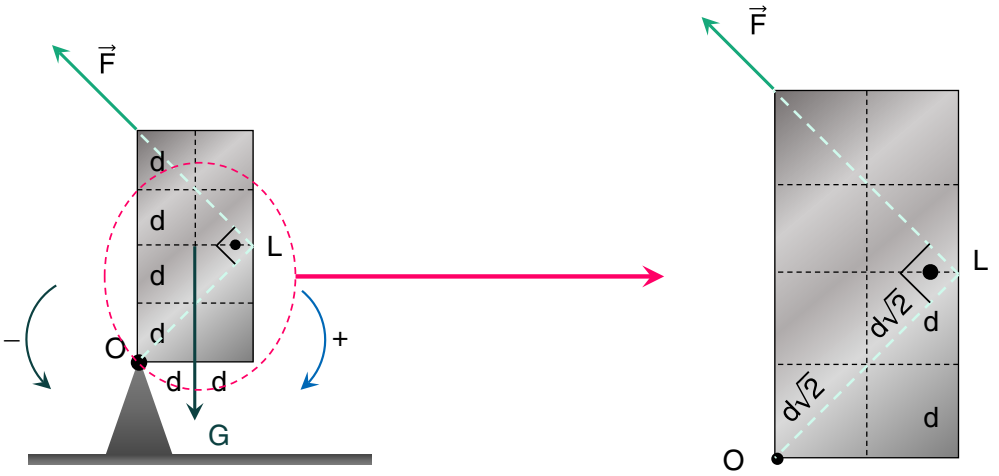
$$\sum \vec{\tau} = 0$$

Destek üzerindeki G ağırlığının destek noktasına göre torku oluşmaz.



Destek üzerinde O noktası çevresinde dönebilen G ağırlıklı türdeş levhanın dönmesi F kuvveti ile engellenmiş olsun.

Levhanın dönmesini engelleyen F kuvvetinin büyüklüğünü levhanın ağırlığı (G) cinsinden bulalım.



Levhanın G ağırlığı levhayı O noktası çevresinde + yönde döndürmeye zorlarken, F kuvveti de levhayı – yönde döndürmeye zorlayarak toplam torku sıfır yapar ve levha dönme hareketi yapmaz.

$$\sum \vec{\tau} = 0 = G \cdot d - F \cdot 2d\sqrt{2}$$

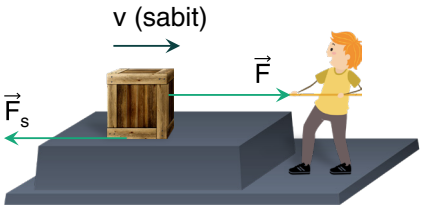
$$G \cdot d = F \cdot 2d\sqrt{2}$$

$$F = \frac{G}{2\sqrt{2}}$$

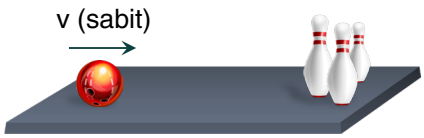
DENGE VE DENGE ŞARTLARI

DENGE ŞARTLARI

Yatay zemine bırakılan G ağırlıklı top yatay zeminin cisme uyguladığı N normal (Tepki) kuvveti ile hareketsiz kalır.



Sürtünmeli yatay zeminde kinetik sürtünme kuvvetine eşit büyüklükte bir kuvvetle çekilen cisim, sabit hızıyla hareketini sürdürür.

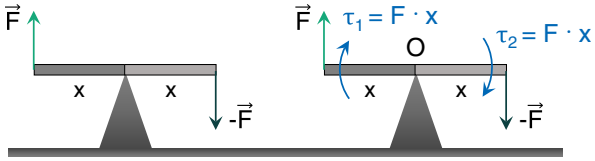


Sürtünmesiz zeminde v hızıyla fırlatılan Bowling topu dengelenmiş kuvvetler etkisinde lobutlara doğru hızını değiştirmeden ilerler.

HATIRLAYALIM

Newton'a göre bir cisim üzerinde net kuvvet sıfır ise cisim ya durgun haldedir ya da sabit hızla hareketine devam eder.

Dengelenmiş kuvvetler etkisindeki cisimler ''eylemsizlik ilkesi''ne uyarlar.



Şekildeki destek üzerinde dönebilen bir çubuğa şekildeki kuvvetler uygulandığında çubuk aynı yönlü $\vec{\tau}_1$ ve $\vec{\tau}_2$ torkları etkisiyle saat yönünde dönmeye başlar.

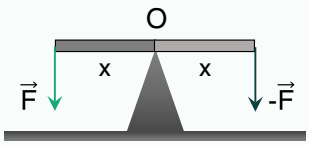
Çubuk üzerinde bileşke kuvvet sıfır olmasına karşın çubuk hareketsiz değildir. Ayrıca cisim üzerindeki dengelenmiş kuvvetlerin cisim üzerinde net bir döndürücü etkisinin de olmaması gerekir.

O halde bir cismin denge halinde olması için;

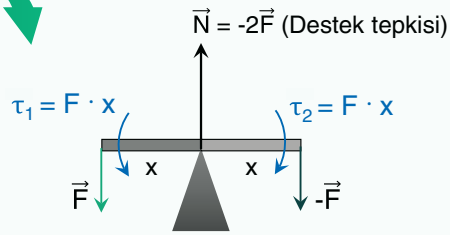
I. $\vec{F}_{net} = 0$ (Cisim üzerindeki kuvvetlerin bileşkesi)

II. $\vec{\tau}_{net} = 0$ (Cisim üzerindeki kuvvetlerin toplam tork büyüklüğü)

şartlarının ikisinin de gerçekleşmiş olması gerekir.

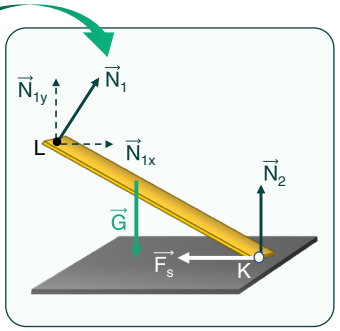


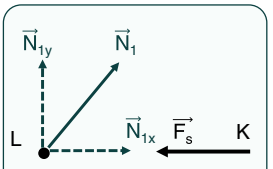
Ağırlığı ihmal edilen destek üzerine yerleştirilen çubuk şekildeki kuvvetler etkisinde denge halindedir.



$\vec{F}_{net} = 0$ ve $\vec{\tau}_{net} = 0$

şartlarının ikisi de gerçekleşmiştir.



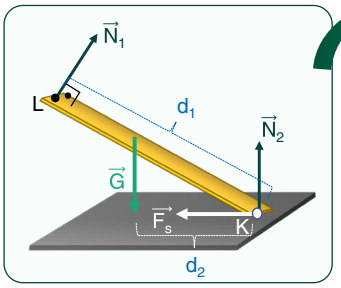


Yatayda, L noktasında çubuğa etki eden tepki kuvvetinin ($\vec{N}_1$), yatay bileşeni $\vec{N}_{1x}$ ile K ucundaki sürtünme kuvveti $\vec{F}_s$ 'nin büyüklükleri eşittir.

Düşeyde L noktasında çubuğa etki eden tepki kuvvetinin düşey bileşeni $\vec{N}_{1y}$ ile K ucundaki yatay zeminin çubuğa tepkisinin ($\vec{N}_2$) toplamı çocuğun G ağırlığına büyüklük olarak eşittir.

$$\vec{N}_2 + \vec{N}_{1y} = -\vec{G}$$

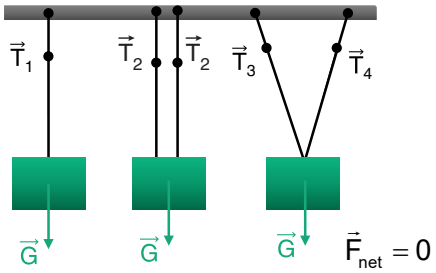
G ağırlığındaki çocuk merdiven üzerinde dengede kalabilir.
Çubuk üzerine etki eden kuvvetlerin bileşkesi de, herhangi bir noktaya göre toplam torkları da sıfırdır.



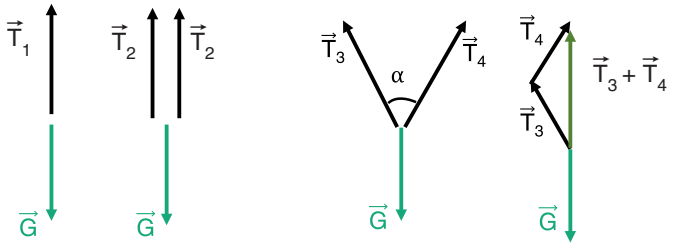
K noktasına göre $\vec{N}_1$ kuvvetinin torku ile $\vec{G}$ ağırlığının torku zıt yönlerde ve büyüklük olarak birbirine eşittir. Toplam tork da sıfır olur.

$$N_1 \cdot d_1 = G \cdot d_2$$

ASKIDAKİ CİSİMLER



(a) (b) (c)



(a) (b) (c)

$\vec{T}_1 = -\vec{G}$ $\quad 2\vec{T}_2 = -\vec{G}$ $\quad \vec{T}_3 + \vec{T}_4 = -\vec{G}$ $\quad \vec{T}_3 + \vec{T}_4 + \vec{G} = 0$

G ağırlıklı bir cisim bir ya da iki iple tavana asıldığında şekillerdeki gibi dengede kalabilir.

Her bir durum için $\vec{F}_{net} = 0$ (ya da bileşke kuvvet R = 0) olmalıdır.

(c) durumu için iplerin uzunluğu eşit olursa iki ipteki gerilme kuvvetlerinin ($\vec{T}_3$ ve $\vec{T}_4$) büyüklüğü eşit olur ve bu kuvvetlerden birine T diyelim.

İplerde oluşan gerilme kuvvetlerinin büyüklüğü için;

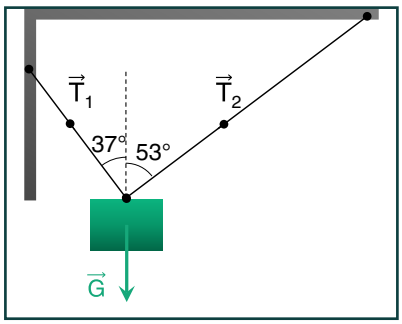
$\alpha = 60° \Rightarrow |\vec{T}_3 + \vec{T}_4| = \sqrt{3}T = G$

$\alpha = 90° \Rightarrow |\vec{T}_3 + \vec{T}_4| = \sqrt{2}T = G$

$\alpha = 120° \Rightarrow |\vec{T}_3 + \vec{T}_4| = T = G$ olur.

KRİTİK BİLGİ

Bir cisim iki iple tavana asılırken ipler arasındaki açı artırılırsa iplerdeki gerilme kuvvetleri de artar.

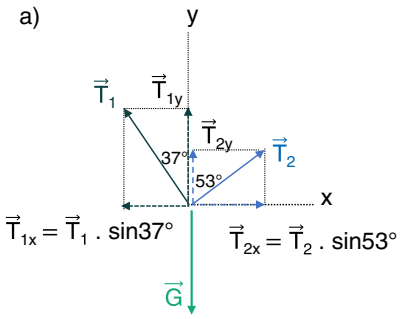


G ağırlıklı bir cisim şekildeki gibi dengede ise,

Cisim üzerinde bileşke kuvvet sıfırdır. ($\vec{T}_1 + \vec{T}_2 + \vec{G} = 0$)

İplere düşen gerilme kuvvetleri üç yolla bulunabilir.

a)



$\vec{F}_{net} = 0$ → $\vec{F}_{net(x)} = 0$, $\vec{F}_{net(y)} = 0$ olmalıdır.

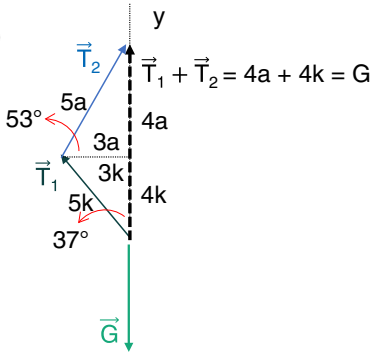
x ekseninde $\vec{T}_{1x} = T_1 . \sin 37° = \vec{T}_{2x} = T_2 . \sin 53°$

y ekseninde; $\vec{T}_{1y} + \vec{T}_{2y} = \vec{G}$

$$T_1 . \cos 37° + T_2 . \cos 53° = G$$

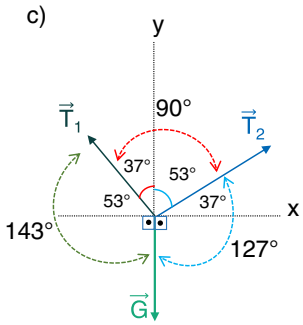
eşitliklerinden ip gerilmeleri bulunabilir.

b)



$\vec{T}_1$ ve $\vec{T}_2$ kuvvetlerinin bileşkesi uç uca ekleme yöntemi ile çizilir özel üçgenlerin kenar uzunlukları kuralına uygun şekilde $\vec{T}_1 + \vec{T}_2$ büyüklüğü G ile eşitlenerek çözüm sağlanır.

c)

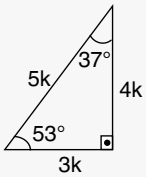


Lami Teoremi;
Bir nokta (ya da cisim) aynı düzlemdeki üç kesişen kuvvet etkisi altında dengede ise her kuvvetin karşısındaki açının sinüs değerine oranı birbirine eşittir.

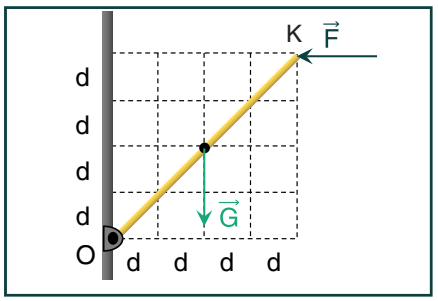
$$\frac{T_1}{\sin 127°} = \frac{T_2}{\sin 143°} = \frac{G}{\sin 90°}$$

Sin127° yerine sin53°
Sin143° yerine sin37°
Sin90° = 1 kullanılır.

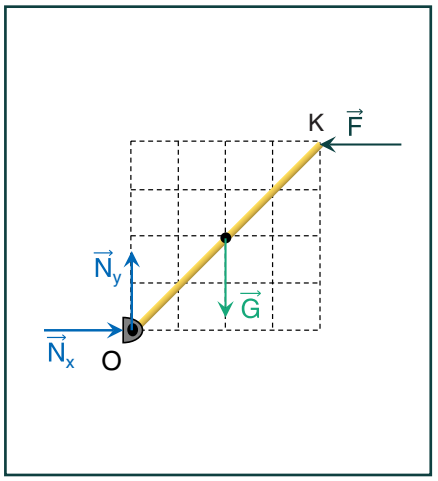
HATIRLAYALIM



37°, 53° ve 90° iç açıları olan üçgende dik kenarlar 3k ve 4k, hipotenüs de 5k ile orantılıdır.



O noktası çevresinde dönebilen türdeş O-K çubuğu şekildeki gibi F kuvvetiyle dengede tutulabilir.



$$\vec{F}_{net} = 0$$

O noktasındaki yatay tepki $\vec{N}_x$, $\vec{F}$ kuvvetini dengelerken, düşey tepki $\vec{N}_y$ de $\vec{G}$ ağırlığını dengeler.

$$\vec{\tau}_{net} = 0$$

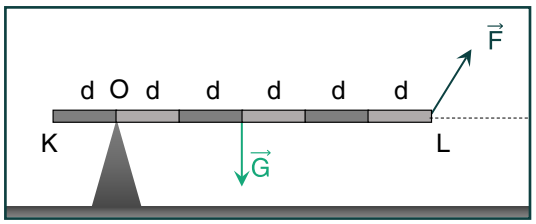
O noktasına göre $\vec{N}_x$ ve $\vec{N}_y$ kuvvetlerinin torku oluşmaz.

$\vec{F}$ kuvvetinin torku da $\vec{G}$ ağırlığının torkunu dengeler.

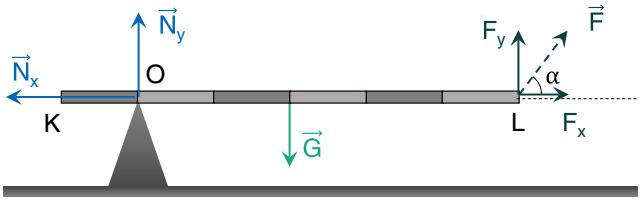
$$-\vec{\tau}_F = \vec{\tau}_G$$

$$F \cdot 4d = G \cdot 2d$$

$$F = G/2$$



O noktası çevresinde dönebilen türdeş KL çubuğu şekildeki gibi F kuvvetiyle dengede tutulabilir.



$F_x = F \cdot \cos\alpha$

$F_y = F \cdot \sin\alpha$

$$\vec{F}_{net} = 0$$

Yatayda O noktasındaki destek üzerinde yatay tepki kuvvetinin büyüklüğü N_x, $\vec{F}$ kuvvetinin yatay bileşeni olan F_x büyüklüğüne eşittir.

$$N_x = F_x$$

Düşeyde, $\vec{F}$ kuvvetinin düşey bileşeni F_y büyüklüğü ile O noktasındaki düşey tepki kuvvetinin büyüklüğü N_y toplanarak G ağırlığı dengelenir.

$$F_y + N_y = G$$

$$\vec{\tau}_{net} = 0$$

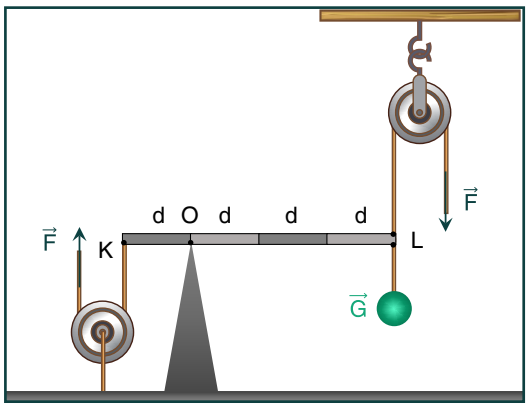
O noktasına göre $\vec{N}_x$, $\vec{N}_y$ ve $\vec{F}_x$ kuvvetlerinin torku oluşmaz.

$\vec{F}_y$ kuvvetinin torku da $\vec{G}$ ağırlığının torkunu dengeler.

$$-\vec{\tau}_{Fy} = \vec{\tau}_G$$

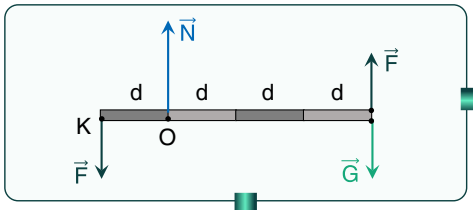
$$F_y \cdot 5d = G \cdot 2d$$

$$F_y = 2G/5$$



O noktası çevresinde dönebilen ağırlığı önemsenmeyen KL çubuğu G ağırlığı ve şekildeki gibi uygulanmış F kuvvetleriyle dengede tutulabilir.

KL çubuğuna etki eden kuvvetler



$\vec{F}_{net} = 0$

$\vec{N} + \vec{F} + \vec{F} + \vec{G} = 0$

$N + F - F - G = 0$

$N = G$

$\vec{\tau}_{net} = 0$

O noktasına göre destek tepkisi ($\vec{N}$) kuvvetinin torku oluşmaz.

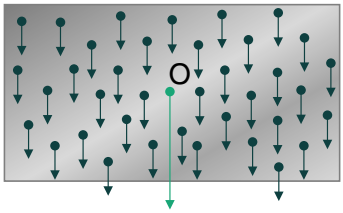
$\vec{F}$ kuvvetlerinin O noktasına göre toplam torku da $\vec{G}$ ağırlığının torkunu dengeler.

$F \cdot 3d + F \cdot d = G \cdot 3d$

$F = 3G/4$

KÜTLE VE AĞIRLIK MERKEZİ

AĞIRLIK MERKEZİ

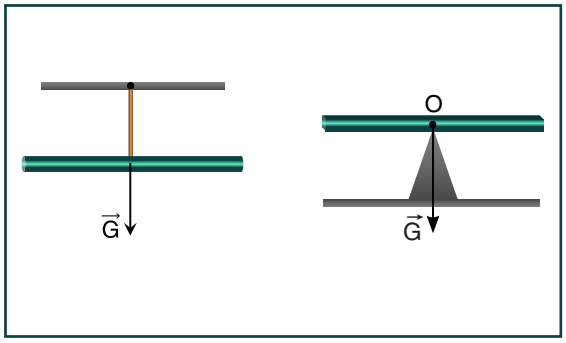


$\vec{G} = \sum m \cdot \vec{g}$

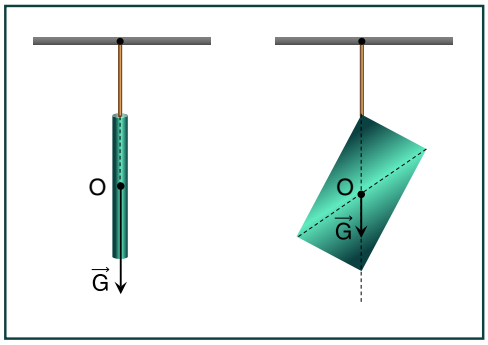
- Ağırlık, bir cisme etki eden yerçekimi kuvvetidir. Yerin çekim kuvvetinden dolayı cisimdeki bütün moleküllere bir kuvvet etki eder. Bu kuvvetler birbirine paralel olup yönü yerin merkezine yöneliktir.
- Ağırlık merkezi ise bu kuvvetlerin bileşkesinin tatbik noktasının bulunduğu yerdir.
- Ağırlığın birimi kuvvet birimi olan Newton'dır. Yönü düşey doğrultuda yerin merkezine doğrudur.

Ağırlık Merkezi İle Kütle Merkezi Farkı

- Bir cismin kütle merkezi ile ağırlık merkezi küçük boyutlu cisimlerde hemen hemen aynı yerdir.
- Ancak yerden yüksekliği fazla olan, (gökdelen gibi çok yüksek binalarda) ağırlık merkezi kütle merkezinin biraz aşağısında olur. Bunun nedeni yer çekim ivmesinin dünya yüzeyinden uzaklaşıldıkça azalması ve cismin yere yakın kısımlarında yer çekim ivmesinin (dolayısıyla ağırlık vektörlerinin) cismin üst kısımlarına göre daha büyük olmasıdır.



Şekil I

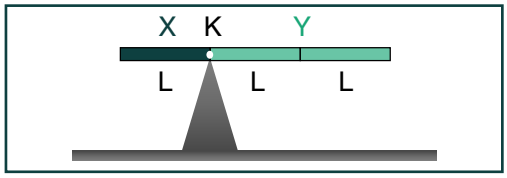


Şekil II

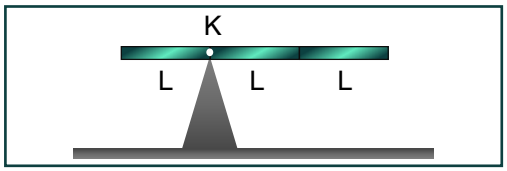
Bir cisim ağırlık merkezinden ya da ağırlık vektörünün doğrultusu üzerindeki bir noktadan geçecek biçimde düşey doğrultuda asılırsa dengede kalır.

Şekil I'de türdeş çubuklar ağırlık merkezinden asılarak ya da ağırlık merkezinin altına gelecek şekilde bir destek üzerine bırakılarak yatay dengede kalmaları sağlanabilir.

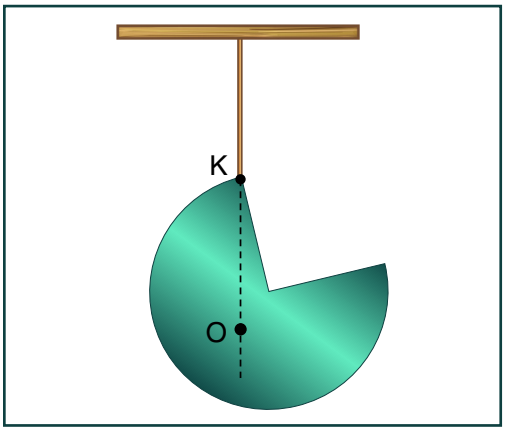
Şekil II'de türdeş çubuğu ve levhayı tavana bağlayan iplerin uzantısı ağırlık merkezinden geçecek şekilde asılarak dengeleri sağlanmıştır. Bu yöntem pratik olarak ağırlık merkezinin tespitinde de kullanılan bir yöntemdir.



Türdeş X ve Y çubukları birbirine eklenerek şekildeki gibi destek üzerine konulduğunda yatay olarak dengede kalıyorlarsa, çubukların ortak kütle merkezinin K noktasında olduğu ve X çubuğunun Y çubuğundan daha ağır olduğu anlaşılır.



Üzeri eşit bölmelendirilmiş bir çubuk şekildeki gibi K noktası altına destek konulduğunda yatay dengede kalıyorsa çubuğun kütle merkezinin K noktasında olduğu ve çubuğun homojen (türdeş) olmadığı anlaşılır.



Türdeş daire dilimi K noktasından bir iple tavana asıldığında şekildeki gibi dengede kalıyorsa ipin düşey çizgisi levhanın O kütle merkezinden geçer.

PÜF NOKTA

Bir iple tavana asılarak serbestçe dönebilen cisimlerde cisimlerin kütle merkezi ipin düşey çizgisi üzerine gelecek şekilde dengelenirler.

Birleştirilmiş Cisimlerin Ağırlık Merkezi

İki ya da daha fazla birleştirilmiş türdeş cisimlerin ağırlık merkezi, her bir cisme etki eden ağırlık vektörlerinin bileşkesinin uygulama noktasıdır.

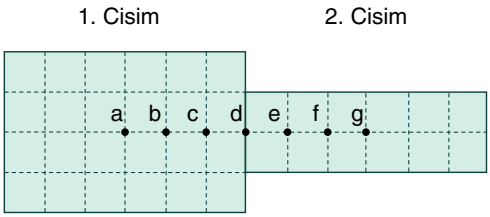
Birleştirilmiş cisimlerin ağırlık merkezini bulmak için aşağıdaki işlem basamakları uygulanır;

a) Birleştirilmiş her bir parçanın ağırlık merkezlerinden ağırlık vektörleri çizilir.

b) Ağırlıklar verilmiyorsa ağırlık yerine, aynı türden çubuk için uzunluk, levha için yüzey alanları, küre ve silindirler için hacimler arasındaki oranlar ağırlıklar yerine kullanılır.

c) Bir cisimden çıkarılan parça olursa çıkarılan parçaların ağırlık vektörleri yukarı yönlü, var olanlar ve eklenen parçalar aşağı doğru gösterilir.

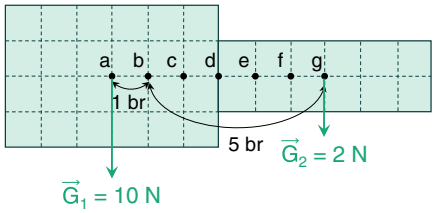
d) Paralel kuvvetler arasındaki bileşkenin uygulama noktasını bularak sistemin ağırlık merkezi bulunmuş olur.



Şekildeki cisimler yan yana eklenmiş birer türdeş tel çerçeve veya türdeş birer levha olabilir.

Bu sistemin ortak kütle merkezini bulmaya çalışalım.

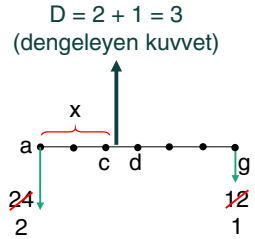
a) Eğer cisimlerin ağırlıkları verilmişse aynen kullanırız. 1. cisim 10 N, 2. cisim 2 N ağırlıklı olsun.



G_1 = 10 N ve G_2 = 2 N ağırlık vektörleri kendi ağırlık merkezlerinden çizilir. Sistemin kütle merkezinin b noktası olduğunu, noktanın iki yanındaki kuvvetlerin torklarını alarak görebiliriz.

b noktasına göre 1. cismin ağırlığının torku (10 • 1) N•br ve 2. cismin ağırlığının da torku (2 • 5) = 10 N•br olduğundan b noktası kütle merkezi olur.

b) Eğer ağırlıklar verilmemişse;

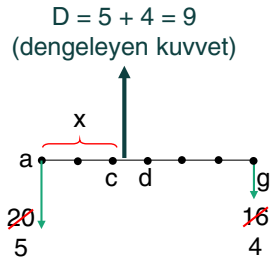


Aynı cins telden yapılmış ve aynı kalınlıkta iseler ağırlıklar yerine çevre uzunluklarını 1. cisim için 20 br, 2. cisim için 16 br olarak ağırlıklarını gösterebiliriz. Ağırlıkları sadeleştirip a-g arasında rastgele bir yerden D dengeleyen kuvvet göstererek a noktasına göre tork dengesi yazılırsa;

$$9 \cdot x = 4 \cdot 6 \longrightarrow x = 2{,}66.$$

Bu uzaklık a noktasından 2,66 br ilerisi c-d arasına gelir. Bu da sistemin kütle merkezinin cd arasında olduğunu gösterir.

c) Eğer cisimler aynı maddeden yapılmış, kalınlıkları da eşit levha iseler bu kez de alanlarını kullanarak 1. cisim için 24 br, 2. cisim için 12 br değerlerini ağırlık büyüklüğü yerine kullanabiliriz.

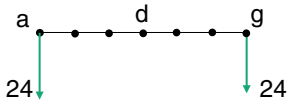


a noktasından tork dengesi yazılırsa;

$3 \cdot x = 1 \cdot 6 \longrightarrow x = 2$ br bulunur.

Bu uzaklık a noktasından 2 br ilerisindeki c noktasına gelir. Bu da sistemin kütle merkezinin c noktasında olduğunu gösterir.

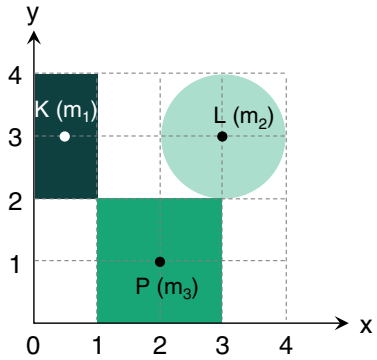
d) Cisimler aynı levhadan kesilmiş fakat 2. cisim iki kat olacak şekilde ise bu kez de alanlarını kullanarak 1. cisim için 24 br, 2. cisim için 12 • 2 = 24 br değerlerini ağırlık büyüklüğü yerine kullanabiliriz.



Cisimlerin ağırlıkları eşit olduğu için ortak ağırlık merkezi a ve g noktalarının tam ortasına karşılık gelen d noktası olur.

Ağırlık Merkezinin Koordinatlarının Bulunmasına Farklı Bir Yaklaşım

Birleştirilmiş ya da ayrı ayrı konumlandırılmış cisimlerin ortak kütle ya da ağırlık merkezinin bulunabilmesi için bir yöntem de cisimlerin kütle merkezlerini x-y koordinat düzleminde koordinatlarını göstererek bir bağıntı yardımıyla sonuca ulaşmaktır.



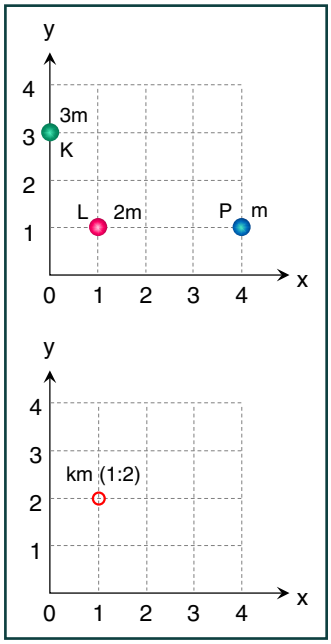
Kütleleri m_1, m_2 ve m_3 olan türdeş K, L ve P levhalarının xy koordinat düzlemindeki konumları verilmiştir.

Sistemin kütle merkezi;

Her bir levhanın kütle merkezi koordinatları, K(0,5 ; 3), L (3 ; 3) ve P için (2 ; 1) olup sistemin kütle merkezi koordinatları da;

$$x = \frac{m_1 \cdot 0{,}5 + m_2 \cdot 3 + m_3 \cdot 2}{m_1 + m_2 + m_3} \quad \text{ve} \quad y = \frac{m_1 \cdot 3 + m_2 \cdot 3 + m_3 \cdot 1}{m_1 + m_2 + m_3}$$

bağıntılarıyla bulunur.



K, L ve P kütlelerinin x-y koordinat sisteminde konumları gösterilmiştir. Bu kütlelerin ortak kütle merkezinin x ve y koordinat değerleri için;

$$x = \frac{m_1 \cdot x_1 + m_2 \cdot x_2 + \ldots}{m_1 + m_2 + \ldots} \quad \text{ve} \quad y = \frac{m_1 \cdot y_1 + m_2 \cdot y_2 + \ldots}{m_1 + m_2 + \ldots}$$ bağıntılarını kullanabiliriz.

Şekildeki kütlelerin xy koordinat değerlerini kullanarak;

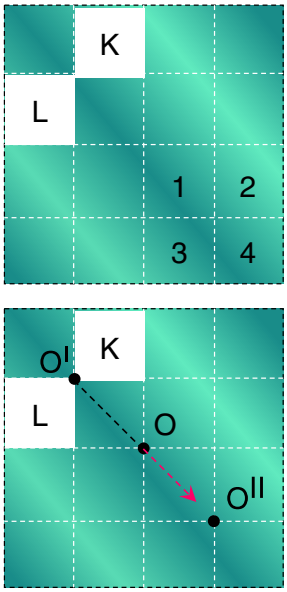
K için; $x = 0,\ y = 3$
L için; $x = 1,\ y = 1$
P için; $x = 4,\ y = 1$

$$x = \frac{3m \cdot 0 + 2m \cdot 1 + m \cdot 4}{3m + 2m + m} = 1$$

$$y = \frac{3m \cdot 3 + 2m \cdot 1 + m \cdot 1}{3m + 2m + m} = 2$$

Bu koordinat değerleri de sistemdeki üç kütlenin ortak kütle merkezinin koordinatlarının km(1;2) şeklinde olduğunu gösterir.

Bir Levhanın Bir Bölümünün Kesilip Atılması İle Kütle Merkezinin Yer Değiştirmesi



Homojen kare levhadan K ve L parçaları kesilip atıldığında levhanın kütle merkezinin O noktasında kalabilmesi için 1, 2, 3 ve 4 nolu kare bölümlerin hangilerinin çıkartılması gerektiğini bulalım.

K ve L kare parçalarının ortak kütle merkezi O^{I} noktası olup bu parçaların sistemden çıkarılması ile levhanın kütle merkezi O^{I} O doğrultusundan ok yönünde bir miktar uzaklaşır.

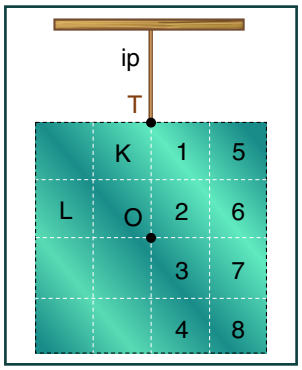
Levhanın kütle merkezinin O noktasında kalması için çıkarılan O^{I} ortak kütle merkezinin simetrisi olan O^{II} noktası merkez olacak şekilde yine 2 kare parçanın çıkarılması gerekir.

Bu parçalar da 1 ve 4 nolu parçalar olabileceği gibi 2 ve 3 nolu parçalar da olabilir. Her iki çiftin ortak kütle merkezi O^{II} noktası olduğu görülür.

KRİTİK BİLGİ

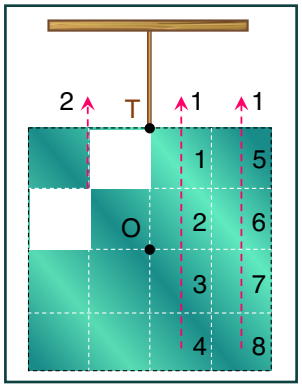
Bir levhadan parça çıkarılırsa sistemin kütle merkezi, çıkarılan parçanın kütle merkezinin ilk kütle merkezine göre simetrisi olan bölgeye doğru kayar.

Bir Cismin Tavana Asılarak Dengede Kalması İçin Hangi Koşullar Sağlanmalıdır?



Türdeş levha ipe bağlanarak şekildeki gibi tavana asıldığında dengede kalmaktadır.

Levhanın K ve L kare bölümleri kesilip atıldığında levhanın denge halini koruyabilmesi için numaralandırılmış parçalardan hangilerinin çıkarılabileceğini araştıralım.



Dengenin tekrar sağlanması için tork dengesinin sağlanması yoluyla bir çözüm bulunabilir.

T noktasının sol tarafında K ve L parçalarının ortak kütle merkezinden yukarı 2 br büyüklüğünde bir kuvvet çizilirse bu kuvvet nedeniyle T noktasına göre eksilen tork 2 • 1 = 2 olur.

T noktasının sağ tarafında ise 1, 2, 3 veya 4 nolu parçaların herhangi biri çıkarıldığında eksilen tork 1 • 0,5 = 0,5 olur. Ayrıca 5, 6, 7 ve 8 nolu parçalardan herhangi biri de çıkarıldığında eksilen tork 1 • 1,5 = 1,5 ve bu yollarla eksilen toplam tork da 0,5 + 1,5 = 2 br olur.

Bu da levha üzerinde T noktasına göre ters yönlerde iki eşit büyüklükte tork eksilmesi oluşturacağı için toplam tork sıfır olur ve dengenin bozulmayacağını gösterir.

Bu durumda "1, 2, 3, 4 nolu parçalardan herhangi biri ile 5, 6, 7, 8 nolu parçalardan herhangi birinin çıkartılması gerekir" şeklinde olacaktır.

BASİT MAKİNELER (BASİT MAKİNELERİN ÖZELLİKLERİ, KALDIRAÇLAR, MAKARALAR)

Günlük hayatta iş kolaylığı sağlamak, kaldıramadığımız ağırlıkları kaldırmak, taşıyamadığımız yükleri taşımak amacıyla kullanılan araçlara **basit makine** denir.

Kaldıraç, makara, palanga, vida, çıkrık, dişli çarklar gibi araçlara basit makine denilir.

NOT

Tüm basit makinelerde yük ile kuvvet arasındaki ilişki, dengeden ya da tork prensibinden, alınan yollar ise iş prensibinden bulunur.

Kaldıraçlarda çubuk ağırlığı önemsenmezse

Kuvvet • Kuvvet kolu = Yük • Yük kolu

PÜF NOKTA

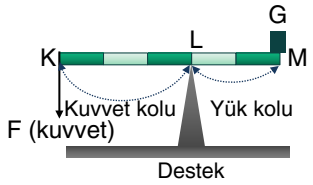
Basit makineler yapılan işten veya harcanan enerjiden kazanç sağlamazlar.

Bir basit makine ya kuvvetten kazanç sağlar ya da yoldan. Kuvvetten kazandıran bir basit makine yoldan kaybettirir.

Basit makinelerde $\text{Kuvvet Kazancı} = \dfrac{\text{Yük}}{\text{Kuvvet}}$ oranı ile bulunur.

KALDIRAÇ

a) Destek arada olan kaldıraç



Destek noktasının arada olduğu bu kaldıraç tipine pense, makas, tahterevalli, kerpeten, manivela ve eşit kollu terazi gibi örnekler verilebilir.

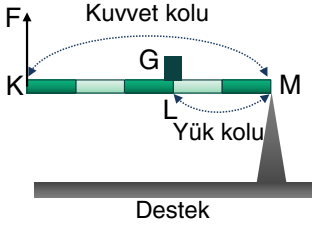
PÜF NOKTA

KM çubuğunun ağırlığı önemsenmezse;

*Kuvvet kolu yük koluna eşit olduğunda kuvvetle yük eşit olur.

*Kuvvet kolu yük kolundan büyük olursa kuvvet yükten küçük olur.

b) Yük arada olan kaldıraç

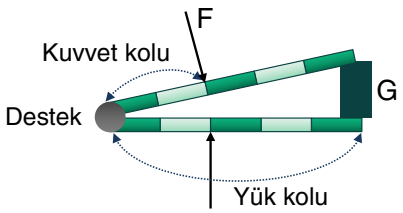


Bu kaldıraç tipinde uygulanan kuvvet yüke göre destekten ne kadar uzakta ise kuvvet o kadar küçük olur. Bu tip basit makinelere fındık kıracağı, el arabası, gazoz açacağı örnek olarak verilebilir.

DİKKAT

KM çubuğunun ağırlığı ihmal edilirse kuvvet G ağırlığından küçük olur.

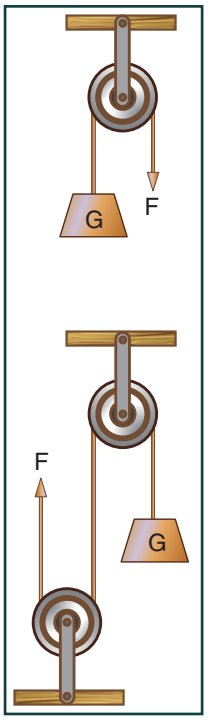
c) Kuvvet arada olan kaldıraç



Bu kaldıraç tipinde uygulanan kuvvetten kazanç yoktur. Kuvvet destek noktasına ne kadar yakınsa kuvvet o kadar büyük olur.

Maşa, cımbız, tenis raketi, kürek, buz hokeyi sopası gibi basit makineler bu kaldıraç tipine örnektir.

SABİT MAKARA



Şekildeki gibi sabit makaralarla kurulmuş düzeneklerde F kuvveti ip çekerken makara yer değişimi yapmadan yük yükselir.

NOT

Sabit makara desteği ortada bir kaldıraç gibi çalışır.

DİKKAT

Bu makaralar kuvvetten veya yoldan bir kazanç sağlamazlar. Sistemdeki sürtünme kuvvetleri ihmal edilirse yükün dengede kalması yada düşey sabit hızlı yer değiştirmelerinde F kuvvetinin büyüklüğü G yükünün ağırlığına eşittir.

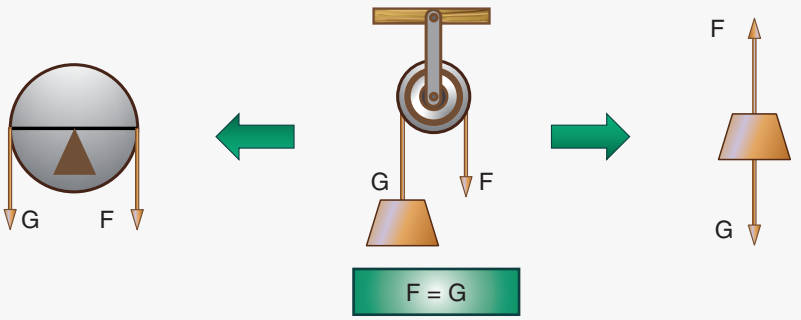
Yükün h kadar yükselmesi için, F kuvveti ile h kadar ip çekilmelidir.

KRİTİK BİLGİ

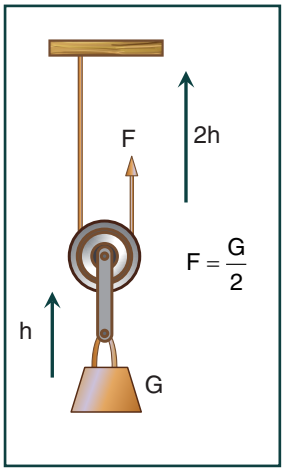
F kuvveti makaraları yükseltmediği için makara ağırlıkları da F kuvvetini etkilemez.

DİKKAT

F kuvvetinin değerini bulmak için,



HAREKETLİ MAKARA



Hareketli makara sistemlerinde kuvvetten kazanç sağlanır. G ağırlığı iki düşey ve paralel iple taşındığı için (makara ağırlığı ihmal edilirse);

$$F = \frac{G}{2}$$ olur.

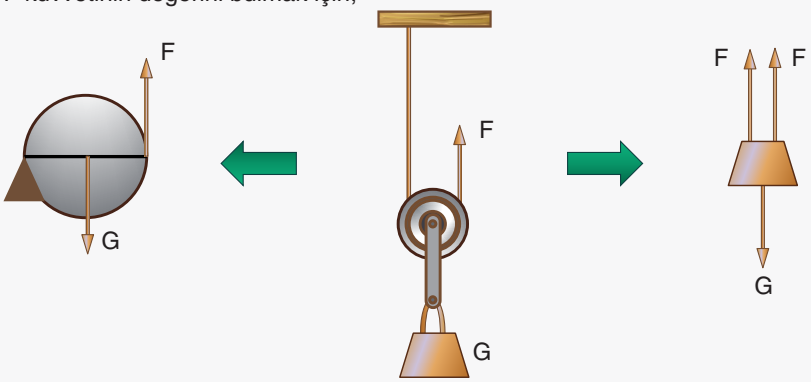
Hareketli makaralar yükle beraber taşınarak yükseltildiği için makara ağırlıkları F kuvvetinin değerini artırır. Yükü dengeleyen ya da sabit hızlı yer değiştirmesini sağlayan F kuvvetinin değeri;

$$F' = \frac{G + G_m}{2}$$

Hareketli makara sistemleri yoldan kaybettirirler. Yükün h kadar yükselebilmesi için F kuvvetinin 2h kadar ip çekmesi gerekir.

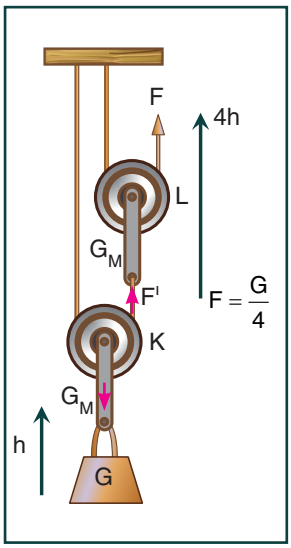
DİKKAT

F kuvvetinin değerini bulmak için,



Destek uçta diye düşünüldüğünde

$$F = \frac{G}{2}$$



Ardışık iki tane hareketli makara kullanılırsa yükün h kadar yükselmesi için 4h kadar ip çekmek gerekir.

Böyle bir düzenekte kuvvet, makaraların ağırlığı ihmal edilirse yük iki kez yarıya düşürüldüğü için;

$$F = \frac{G}{4}$$ olur.

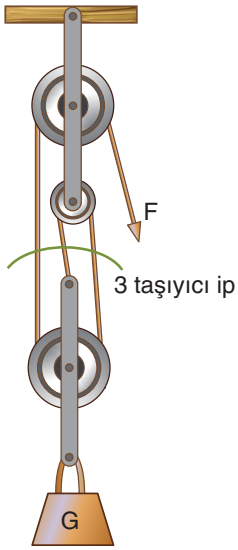
Makaraların ağırlığı varsa en alttan başlanarak G yükü ve K makarasının ağırlığı dikkate alınarak;

$$F' = \frac{G + G_m}{2}$$ işlemi ile L makarasının altındaki ipin gerilmesi bulunur.

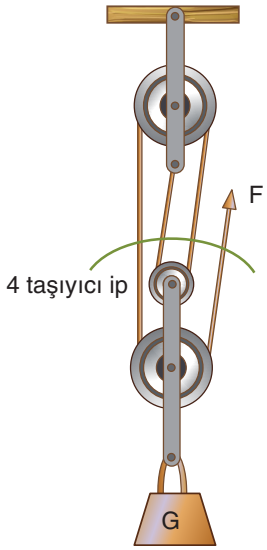
Sonra bu bulunan değer tekrar $F' = \frac{G + G_m}{2}$ yapılarak sistemi dengeleyecek kuvvet bulunur.

BASİT MAKİNELER (PALANGA, EĞİK DÜZLEM, VİDA, ÇIKRIK, ÇARK, KASNAKLAR VE BASİT MAKİNELERDE VERİM)

PALANGALAR



Şekil I



Şekil II

Kuvvetten daha çok kazanç sağlama amacıyla hareketli ve sabit makaralardan oluşmuş düzeneklere **palanga** denir.

F kuvvetinin büyüklüğü makara ağırlıkları ihmal edilirse;

Şekil I'de $F = \frac{G}{3}$ (taşıyıcı ip sayısı 3)

Şekil II'de $F = \frac{G}{4}$ (taşıyıcı ip sayısı 4)

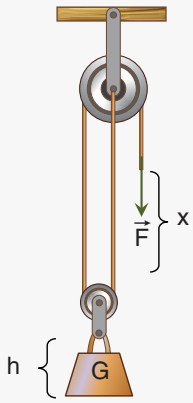
KRİTİK BİLGİ

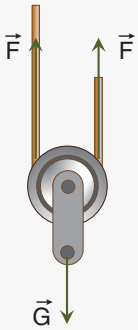
İp sayısı için G yükünün hemen üzerinde iplerin en yoğun olduğu yerdeki ipler sayılır.

Makara ağırlıklarının önemli olduğu durumlarda hareketli makaraların ağırlıkları yük gibi düşünülerek yüke eklenerek işlem yapılır.

NOT

Sabit makaranın ağırlığı kendi askı çubuğuna ve tavana etki eder, kuvvetin değerini etkilemez.





$F = \frac{G}{2}$

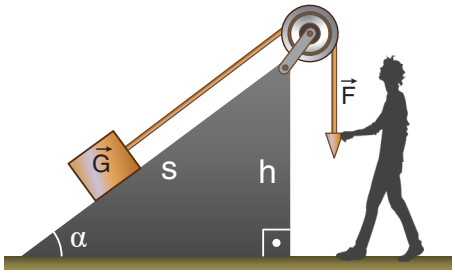
F kuvvetinin yaptığı iş G yükünün yer çekimine karşı yaptığı işe eşit olacağından;

$F \cdot x = G \cdot h$

$\frac{G}{2} \cdot x = G \cdot h$

x = 2h olur. Bu durumda yükü h kadar yukarı çekmek için ip 2h kadar çekilmelidir.

EĞİK DÜZLEM



Şekildeki gibi bir sürtünmesiz eğik düzlemde G yükünü dengeleyen ya da sabit hızlı hareketini sağlayan kuvvetin büyüklüğü;

$F = G \cdot \sin\alpha = G \cdot \frac{h}{s}$ ile bulunur.

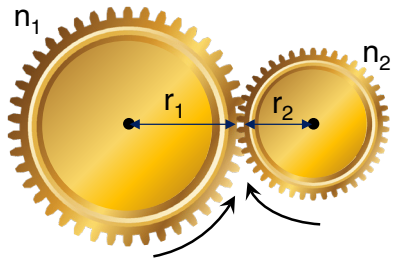
KRİTİK BİLGİ

α açısı artırıldıkça aynı yükü eğik düzlemde taşıyabilmek için gerekli kuvvet de artacaktır.

NOT

Eğik düzlemler kuvvetten kazanç sağlar.

DİŞLİ ÇARKLAR VE KASNAK SİSTEMLERİ



Kuvvetten kazanmak, dönme yönünü değiştirmek gibi amaçlarla kullanılan çarklarda, devir sayısı diş sayısı ile (ya da yarıçapla) ters orantılıdır.

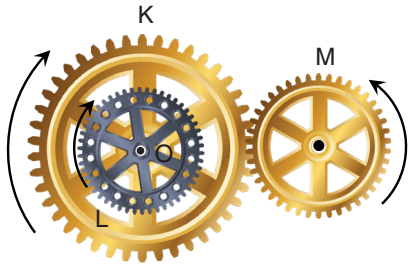
Diş sayıları (n), veya yarıçapları (r) ile devir sayıları arasında;

$$n_1 \cdot r_1 = n_2 \cdot r_2$$

bağıntısı vardır.

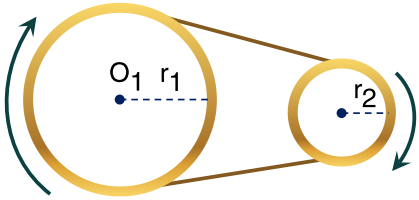
DİKKAT

Dişli çarklar birbirlerine göre ters yönde dönerler.

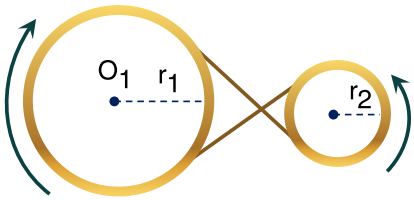


K ve L gibi aynı merkezli, perçinli çarklar aynı yönde, aynı devri yaparlar. M ise diş sayısı ile ters orantılı olacak şekilde K ve L'ye zıt yönde döner.

Aynı Yönde Dönecek Şekilde Bağlanan Kasnaklar

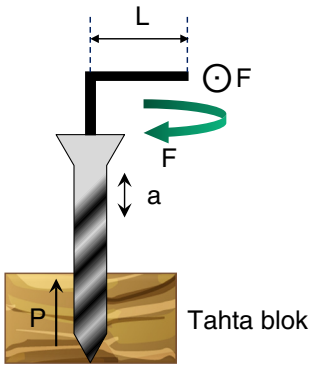


Zıt Yönde Dönecek Şekilde Bağlanan Kasnaklar



$$n_1 \cdot r_1 = n_2 \cdot r_2$$

VİDA



Kuvvetten kazanç sağlamak amaçlı kullanılan vidada L uzunluklu kola uygulanan F kuvveti kola bir devir yaptırdığı zaman vida da bir devir yaparken vida zeminde vida adımı (a) kadar ilerler.

Vidada uygulanan F kuvveti ile zemin direnci P arasında;

$$F \cdot 2\pi \cdot L = P \cdot a$$

bağıntısı vardır.

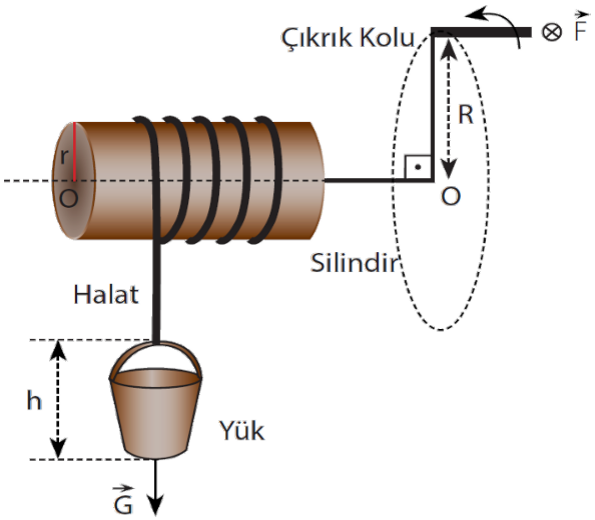
DİKKAT

Bir vidada daha küçük kuvvetle bir işi yapabilmek için;

- L vida kolunu büyütmek
- Daha küçük adımlı bir vida tercih etmek
- Zemin direncini azaltmak

gibi değişiklikler yapılabilir.

ÇIKRIK

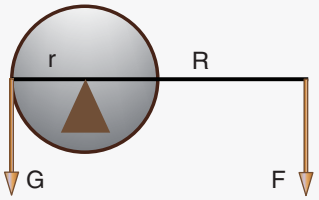


Bir silindire sarılı ipin ucundaki G yükü L uzunluklu çevirme koluna uygulanan F kuvveti ile dengelenmektedir.

r silindirin yarıçapı olmak üzere F yükü ile G yükü arasında

$F \cdot R = G \cdot r$ bağıntısı vardır.

DİKKAT



Çıkrığın açık şekli

Çıkrık kolu, silindire sabitlenmiş olduğundan birlikte dönerler.

Çıkrık kolunun bir devrinde, silindir de bir devir yapar ve yük silindirin çevresi olan $2\pi r$ kadar yükselir. Kolun n devrinde de yük $n \cdot 2\pi r$ kadar yükselir.

KRİTİK BİLGİ

Yükün daha küçük kuvvetle yükseltilebilmesi için, çevrime kolunun R uzunluğu artırılabilir, ya da silindirin yarıçapı r küçültülebilir.

VERİM

Bir makinenin verimi, makineden alınan enerjinin makineye verilen enerjiye oranından bulunur.

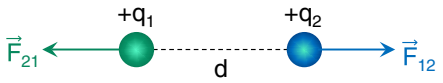
$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan Enerji}}{\text{Verilen Enerji}}$$

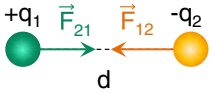
$$\text{Verim} = \frac{\text{Yapılan İş}}{\text{Harcanan Enerji}}$$

ELEKTRİKSEL KUVVET

ELEKTRİKSEL KUVVET (COULOMB KUVVETİ)

Aynı cins elektrik yüklü cisimler birbirini iter, zıt cins elektrik yüklü cisimler ise birbirini çekerler. Bu çekme ya da itme kuvveti, yüklerin çarpımı ile doğru, aralarındaki uzaklığın karesi ile ters orantılıdır. Buna da Coulomb kuvveti denir.





$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ ve $F_{12} = F_{21}$

$$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$$

q_1 ve q_2: elektrik yük miktarları (coulomb)

d: iki yük arası uzaklık (metre)

k: orantı sabiti olup hava ve boşluk ortamı için $k = 9 \cdot 10^9\ Nm^2/C^2$

F: kuvvet (Newton)

DİKKAT

Elektriksel kuvvet bir etki-tepki kuvvet çiftidir. Etkileşim halinde olan her iki yük üzerinde de eşit şiddette ve zıt yönde etki eder.

NOT

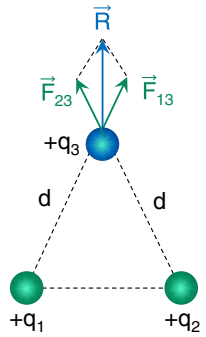
k katsayısı havadan daha yalıtkan ortamlarda daha küçük bir değer alır ve iki yük arasındaki Coulomb kuvveti ortamın özelliğine bağlı değişkenlik gösterir.

KRİTİK BİLGİ

Maddelerin ve cisimlerin bütün olarak bulunması elektriksel kuvvetle olur. Maddenin atom ve molekülleri arasındaki kütle çekim kuvveti, bu parçacıklar arasındaki elektriksel kuvvet yanında yok sayılacak kadar küçüktür.

Bileşke Elektriksel Kuvvet Bulunuşu

Bir cisme birden fazla elektriksel kuvvet etki ediyorsa vektörel işlemler ile bileşke kuvvet bulunur.

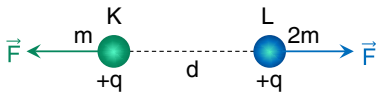


Şekilde üçgenin iki köşesine yerleştirilen $+q_1$ ve $+q_2$ yüklerinin $+q_3$ yüküne uyguladıkları kuvvetler $\vec{F}_{13}$ ve $\vec{F}_{23}$ ile bunların bileşkesi olan $\vec{R}$ vektörü gösterilmiştir.

Bileşke Coulomb kuvveti bulunurken;

- Hangi yük üzerine etki eden bileşke kuvvet soruluyorsa sadece o yük üzerine etki eden elektriksel kuvvetler vektörlerle gösterilir.
- Kuvvetlerin büyüklüğü Coulomb kuvveti formülüne uygun olarak yazılır.
- Yüke etkiyen kuvvetlerin bileşkesi yani elektriksel kuvvet bulunur.

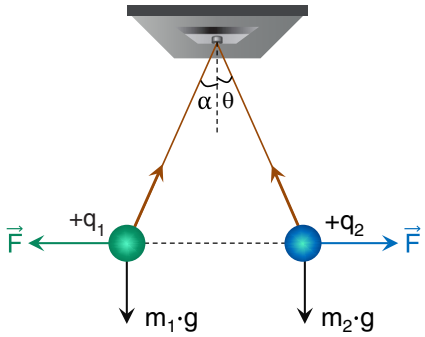
Coulomb Kuvvetinin Etkileri



Aynı cins yüklü K ve L küreleri sürtünmesi önemsiz düzlemde şekildeki konumdan serbest bırakıldıklarında birbirlerini eşit büyüklükte kuvvetlerle iterler.

PÜF NOKTA

F = m • a bağıntısına göre, kütleler ile ters orantılı olarak K cismi 2a, L cismi ise a büyüklüğünde ivme ile zıt yönlerde hızlanmaya başlarlar. Yükler birbirinden uzaklaşırken etkileşme kuvvetleri ve ivmeleri azalır ama cisimler hızlanmaya devam ederler.



$+q_1$ ve $+q_2$ elektrik yüklerine sahip iki küre iplerle tavana asıldığında denge görünümleri şekildeki gibi oluşur.

DİKKAT

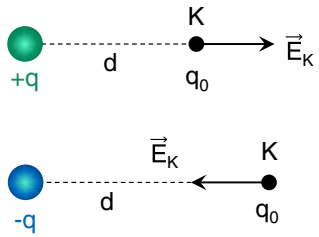
- Kürelerin birbirine uyguladıkları elektriksel kuvvetler zıt yönlerde ve eşit büyüklükte olur.
- Kürelere bağlı iplerin düşeyle yaptıkları açılar kürelerin ağırlıkları ile ters orantılı olacak şekilde oluşurlar.

  $m_1 = m_2$ ise $\alpha = \theta$

  $m_1 > m_2$ ise $\alpha < \theta$ olur.
- İplerdeki gerilme kuvvetleri kürelerin ağırlıkları ile Coulomb kuvvetlerinin bileşkesi ile bulunur. Coulomb kuvvetlerinin büyüklüğü aynı olduğu için kütlesi büyük olan cisme bağlı ipteki gerilme kuvveti de büyük olur.

ELEKTRİK ALAN

ELEKTRİK ALANI



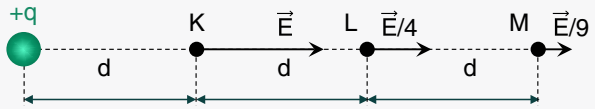
Elektrik yüklü bir cismin d kadar uzağındaki bir noktada oluşturacağı elektrik alan; o noktada çok küçük bir q_0 test yüküne etki eden kuvvettir.

$F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$ $\qquad$ $F = q_0 \cdot E$

$F = k \cdot \frac{q \cdot (q_0)}{d^2}$ ise $E = k \cdot \frac{q}{d^2}$ E: Elektrik alan (Newton/coulomb) ya da (Volt/metre)

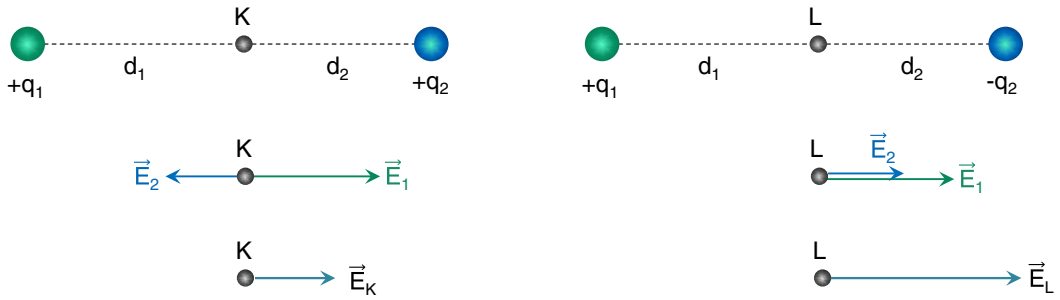
NOT

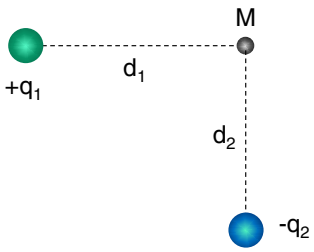
Bir yükün çevresindeki bir noktada elektrik alanı yük miktarı ile doğru, yükten uzaklığın karesi ile ters orantılıdır.



Birden Fazla Yükün Bir Noktada Oluşturduğu Elektrik Alanı

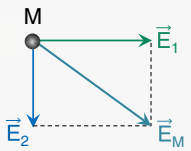
Elektrik alan vektörel bir büyüklüktür. K ve L noktalarında yüklerin oluşturduğu bileşke elektrik alan bulunurken vektörel işlemler yapılmalıdır.



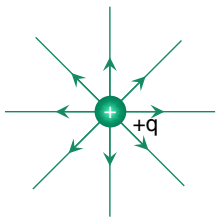


M noktasındaki elektrik alanı $\vec{E}_1$ ve $\vec{E}_2$ elektrik alanlarının bileşkesi olur. E_M büyüklüğü ise Pisagor bağıntısı ile bulunur.

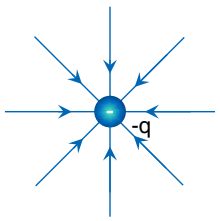
M noktasındaki elektrik alanı



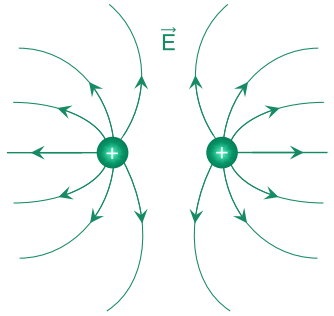
Elektrik Yüklerinin Çevresindeki Elektrik Alan Çizgileri



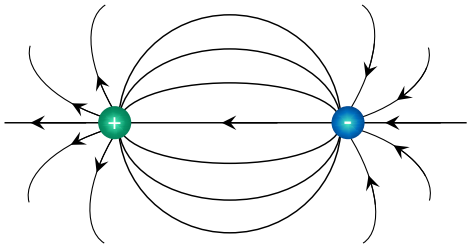
Pozitif yükün çevresinde



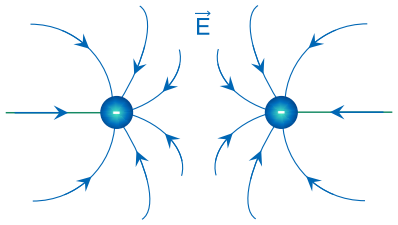
Negatif yükün çevresinde



İki pozitif yükün elektrik alan çizgileri



Pozitif ve negatif iki yükün elektrik alan çizgileri



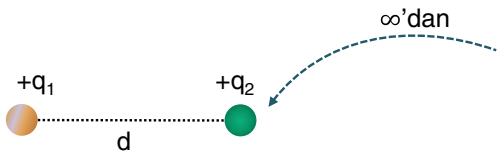
İki negatif yükün elektrik alan çizgileri

DİKKAT

- Pozitif noktasal yükün oluşturduğu elektrik alan çizgilerinin yönü (+) yükten dışarıya doğru, negatif noktasal yükün oluşturduğu elektrik alan çizgilerinin yönü (–) yüke doğru olur.
- Alan çizgileri yüzeye değdiği noktaya daima diktir.
- Alan çizgileri, elektrik alan şiddetinin arttığı yerde sık; azaldığı yerde seyrek çizilir.
- Elektrik alan içinde herhangi bir noktadaki elektrik alan vektörü, o noktadan geçen alan çizgisine teğettir.
- Elektrik alan çizgileri birbirini kesmez.

ELEKTRİKSEL POTANSİYEL ENERJİ VE ELEKTRİKSEL POTANSİYEL

NOKTASAL YÜKLERDE ELEKTRİKSEL POTANSİYEL ENERJİ



Sonsuz uzaklıkta bulunan $+q_2$ yükünü $+q_1$ yükünden d uzaklığına getirmek için Coulomb kuvvetlerine karşı bir iş yapılır. Bu iş sisteme elektriksel potansiyel enerji olarak aktarılır.

Bu enerji;

$$W = F \cdot d = \Delta E_P = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2} \cdot d = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$$

$$\Delta E_P = E_{P2} - E_{P1} = E_{P2} - 0$$

$$E_P = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d}$$

$k = 9.10^9\ N.m^2/C^2$

q_1, q_2; Coulomb

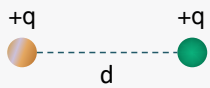
d ;metre olarak alınırsa E_p'nin birimi joule olur.

NOT

Enerji skaler büyüklük olduğu için, bağıntı içinde yüklerin işareti dikkate alınarak işlem yapılmalıdır.

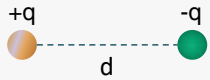
KRİTİK BİLGİ

Yüklü bir cisme aynı yüklü bir cismi yaklaştırdığımızda yayı sıkıştırdığımızda potansiyel enerji kazandığı gibi elektriksel potansiyel enerji kazanır. Burada dış kuvvetlerin yaptığı iş potansiyel enerji kazandırır.



$$E_P = k \cdot \frac{q^2}{d} = +E$$

$$E_P = k \cdot \frac{2q^2}{d} = +2E$$



$$E_P = -k \cdot \frac{q^2}{d} = -E$$

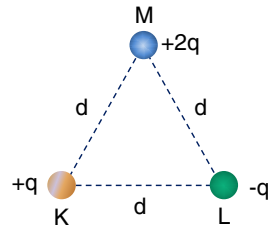
$$E_P = -k \cdot \frac{2q^2}{d} = -2E$$

DİKKAT

Birbirini iten yüklerin enerjisi pozitif, birbirini çeken yüklerin ise enerjisi negatif olur.

Toplam Elektriksel Potansiyel Enerji

Ortamda etkileşim halinde ikiden fazla yük bulunuyorsa sistemdeki toplam elektriksel potansiyel enerji sistemdeki her iki yükün arasında oluşacak enerjilerin cebirsel toplamı kadardır.

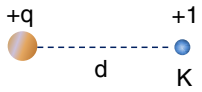


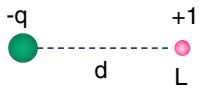
$$E_P = \underbrace{-k\cdot\frac{q^2}{d}}_{\text{K-L arası}} \underbrace{-k\cdot\frac{2q^2}{d}}_{\text{L-M arası}} \underbrace{+k\cdot\frac{2q^2}{d}}_{\text{K-M arası}} = \underbrace{-k\cdot\frac{q^2}{d}}_{\text{Toplam}}$$

Bir Noktanın Elektrik Potansiyeli

Bir +q yükünün d kadar uzağındaki bir noktada oluşturduğu elektrik potansiyeli +1 birimlik q_0 test yükü başına düşen elektriksel potansiyel enerjiye eşittir.

$$V_P = \frac{E_P}{q_0} = k\cdot\frac{(+q)\cdot(+1)}{d} = k\cdot\frac{q}{d}$$





$$V_K = k\cdot\frac{(+q)\cdot(+1)}{d} = +k\frac{q}{d}$$

$$V_L = k\cdot\frac{(-q)\cdot(+1)}{d} = -k\frac{q}{d}$$

V: Elektriksel potansiyel (volt).

PÜF NOKTA

Elektriksel potansiyel skaler bir değer olup, vektörle gösterilmez.

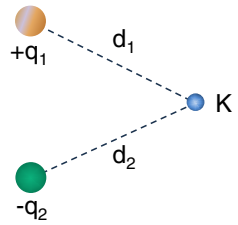
Elektriksel potansiyel yükün işaretine göre pozitif (+) veya negatif (–) değerler alabilir.

DİKKAT

Bir noktanın potansiyeli

$$V = \frac{E_P}{q} \Rightarrow E_P = V\cdot q \text{ olur.}$$

Bir Noktanın Toplam Elektrik Potansiyeli



Birden fazla yükün çevresindeki bir noktada oluşan toplam elektriksel potansiyel sistemdeki her yükün o noktada oluşturdukları elektriksel potansiyellerin cebirsel toplamı kadardır.

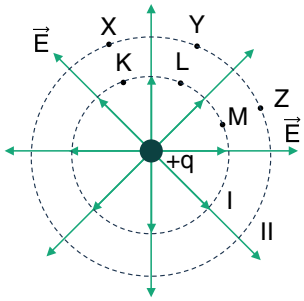
$$V_K = k\cdot\frac{(+q_1)}{d_1} + k\cdot\frac{(-q_2)}{d_2}$$

NOT

Elektrik potansiyel skaler bir büyüklük olduğu için birden fazla yükün çevresindeki bir noktada oluşan toplam elektriksel potansiyel pozitif (+), negatif (-) değer alabileceği gibi sıfır da olabilir.

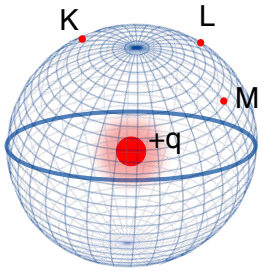
ELEKTRİKSEL POTANSİYEL FARK VE ELEKTRİKSEL İŞ

ELEKTRİK ALANDA BİR NOKTANIN ELEKTRİK POTANSİYELİ / EŞ POTANSİYEL YÜZEYLERİ



+q yükü çevresindeki I. çember üzerindeki K, L ve M noktalarında elektriksel potansiyeller eşittir. Bu nedenle I. çember üzerindeki noktalar eş potansiyel çizgileri üzerindeki noktalardır.

II. çember üzerindeki X, Y ve Z noktaları da daha küçük elektriksel potansiyelli noktalardır. II. Çember çizgisi de yine eş potansiyel çizgisi özelliğindedir.



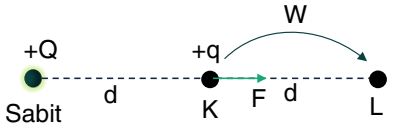
+q yükü merkezde olacak şekilde yükü çevreleyen r yarıçaplı bir kürenin bütün yüzey noktaları yükten eşit uzaklıkta olacağı için bu küre yüzeyi üzerindeki herhangi bir noktanın (K, L, M gibi) elektriksel potansiyelleri eşit olur ve bu küre yüzeyine de eş potansiyelli yüzey adı verilebilir.

KRİTİK BİLGİ

- Eş potansiyel yüzeyler her zaman elektrik alan çizgilerine diktir.
- Elektrostatik dengedeki yüklü iletken cisimlerin şekilleri ne olursa olsun, yüzeylerindeki her noktada elektriksel potansiyelleri sabit olduğundan, yüzeyleri eş potansiyel yüzeyidir.

ELEKTRİK ALANDA BİR YÜKÜN TAŞINMASI SIRASINDA YAPILAN İŞ

Sabit bir +Q yükünden d kadar uzağına bir +q yükü bırakıldığında Coulomb kuvveti etkisinde bu yük itilir ve elektriksel kuvvetler iş yapmaya başlar.



$$W_F = \Delta E_P = E_L - E_K = k \cdot \frac{Q \cdot q}{2d} - k \cdot \frac{Q \cdot q}{d} = -k \cdot \frac{Q \cdot q}{2d}$$

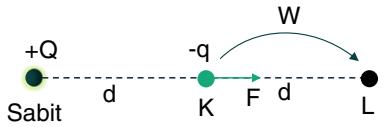
DİKKAT

- Yük K den L ye gelinceye kadar elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş sistemdeki elektriksel potansiyel enerjinin azalmasına sebep olur.
- Elektriksel kuvvetlerin yaptığı iş negatif (-) bir büyüklükte olup sistemdeki elektriksel potansiyel enerjinin değişimine eşittir.
- Elektriksel kuvvetlerinin yaptığı iş başka bir ifade ile;

$$W = \Delta E_P = q \cdot \Delta V$$

$$W = (+q) \cdot (V_L - V_K) = q \cdot (k \cdot \frac{Q}{2d} - k \cdot \frac{Q}{d}) = -k \cdot \frac{Q \cdot q}{2d}$$

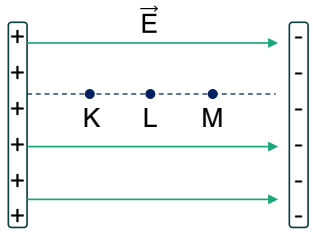
Sabit bir +Q yükünden d kadar uzağındaki bir -q yükünü K noktasından L noktasına taşımak için Coulomb kuvvetlerine karşı iş yapılır.



$$W = (-q)\cdot(V_L - V_K) = (-q)\cdot\left(k\cdot\frac{Q}{2d} - k\cdot\frac{Q}{d}\right) = +k\cdot\frac{Q\cdot q}{2d}$$

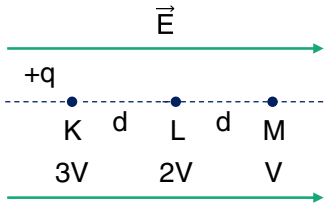
PÜF NOKTA

İş pozitif (+) olup sistemdeki elektriksel potansiyel enerjinin artmasına sebep olur.



Elektrik alan yönünde ilerledikçe elektriksel potansiyel azalır.

$V_K > V_L > V_M$

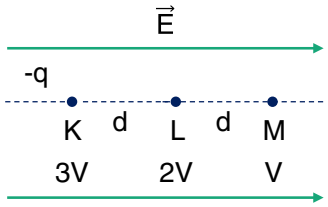


+q yükü K noktasından bırakıldığında elektrik kuvvetleri KL ve LM aralığında iş yapar.

Bu iş;

$W_{KL} = q \cdot \Delta V_{KL} = q \cdot (V_L - V_K) = q \cdot (2V-3V) = -qV$

$W_{LM} = q \cdot \Delta V_{LM} = q \cdot (V_M - V_L) = q \cdot (V-2V) = -qV$

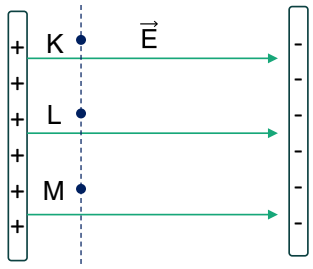


-q yükünü K noktasından KLM yolunda taşımak için elektrik kuvvetlerine karşı iş yapılır.

Bu iş;

$W_{KL} = -q \cdot \Delta V_{KL} = q \cdot (V_L - V_K) = -q \cdot (2V - 3V) = +qV$

$W_{LM} = -q \cdot \Delta V_{LM} = q \cdot (V_M - V_L) = -q \cdot (V - 2V) = +qV$

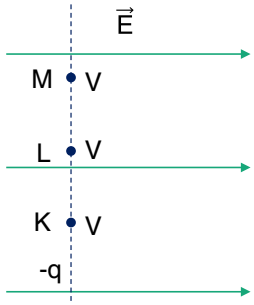


Elektrik alan yönüne dik ilerledikçe elektrikse potansiyel değişmez.

$V_K = V_L = V_M$

NOT

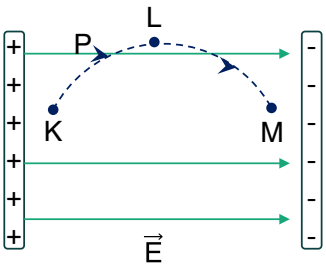
Eş potansiyel çizgisi ya da yüzeyi üzerindeki iki noktanın elektriksel potansiyel farkı sıfırdır.



-q yükünü (veya +q) eş potansiyel çizgisi üzerindeki bir K noktasından L ve M noktalarına taşımak için iş yapılmaz. Çünkü K, L ve M noktalarının elektriksel potansiyelleri eşit (V) dir. KL ya da LM arasında elektriksel potansiyel fark sıfırdır.

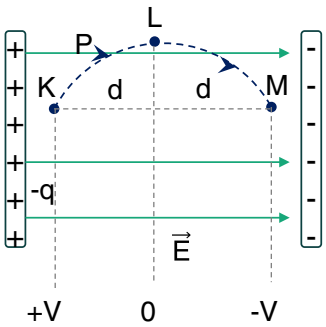
Bu iş;

$W_{KL} = -q \cdot \Delta V_{KL} = q \cdot (V_L - V_K) = -q \cdot (V - V) = 0 = W_{LM}$



P yolu üzerinde gidildikçe elektriksel potansiyel azalır.

$V_K > V_L > V_M$



-q yükünü K noktasından KLM yolunda taşımak için elektrik kuvvetlerine karşı iş yapılır.

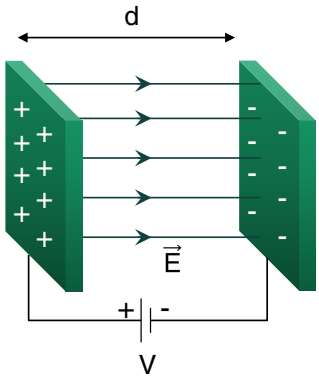
Bu iş;

$W_{KL} = -q \cdot \Delta V_{KL} = q \cdot (V_L - V_K) = -q \cdot (0 - V) = +qV$

$W_{LM} = -q \cdot \Delta V_{LM} = q \cdot (V_M - V_L) = -q \cdot (-V - 0) = +qV$

DÜZGÜN ELEKTRİK ALAN

YÜKLÜ PARALEL LEVHALAR ARASINDAKİ ELEKTRİK ALAN



Birbirine paralel olacak şekilde yerleştirilen iki iletken levha üretece bağlandığında levhalardan biri pozitif (+), diğeri negatif (-) olacak şekilde yüklenir. Levhalar arasında (levhalar arasındaki her noktada eşit büyüklükte) düzgün bir E elektrik alanı oluşur.

Levhalar arasında oluşan elektrik alanının şiddeti;

$$E = \frac{V}{d}$$

V: levhalar arasındaki potansiyel fark (volt)

d: Levhalar arasındaki uzaklık (metre)

E: elektrik alan (volt/metre) ya da (Newton/coulomb)

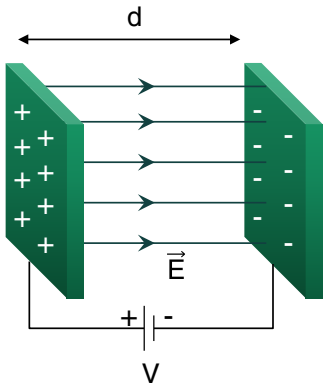
DİKKAT

Paralel levhalar üretece bağlı iken;

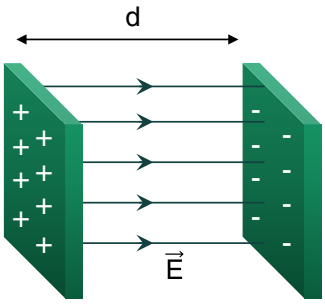
- Üreteç gerilimi artırılırsa levhaların yükleri de elektrik alan şiddeti de artar.
- Levhalar arasındaki uzaklık artırılırsa levhaların yük miktarı da elektrik alan şiddeti de azalır.

PÜF NOKTA

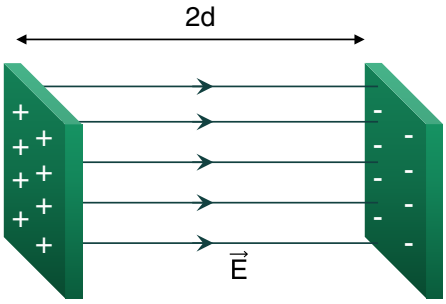
Elektrik alanın yönü daima potansiyeli yüksek olan noktadan düşük olan noktaya doğrudur.



Levhalar bir üretece bağlanarak yükleniyor.

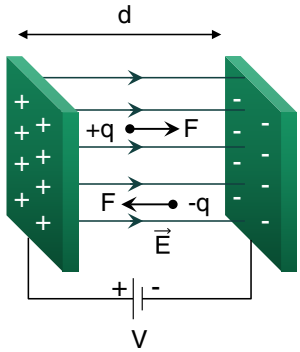


Levhaların yükleri korunarak üreteç bağlantısı kesiliyor.



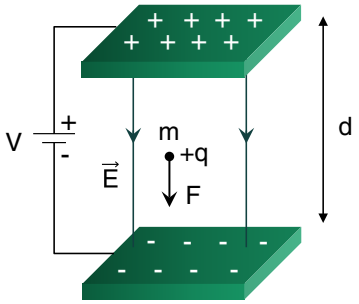
Levhalar artası uzaklık artırılıyor, fakat levhaların yükleri ve elektrik alan şiddeti değişmiyor.

ELEKTRİK ALANDA YÜKLÜ TANECİĞE ETKİYEN KUVVET



E elektrik alanı içine bırakılan +q yüklü taneciğe etkiyen kuvvet elektrik alan yönünde olurken -q yüklü taneciğe ise etkiyen kuvvet elektrik alana ters yönde olur.

$$F = q \cdot E = q \cdot \frac{V}{d}$$



+q yüklü taneciğin ağırlığı önemsenmezse tanecik elektrik alan yönünde

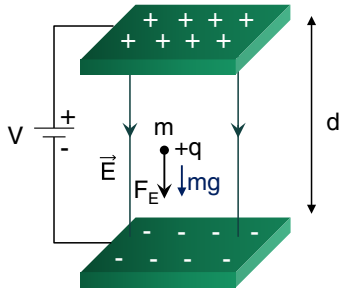
F = q • E büyüklüğünde elektriksel net bir kuvvet etkisi altında hızlanır.

İvmesi de;

$$F_{net} = m \cdot a \Rightarrow a = \frac{F_{net}}{m} = \frac{q \cdot E}{m} = \frac{q \cdot V}{m \cdot d}$$

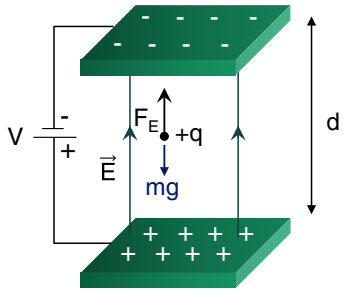
Elektrik alandaki +q yüklü, m kütleli taneciğin ağırlığı önemsenirse;

a)



Bu durumda tanecik (F_E + mg) net kuvveti etkisinde hızlanır.

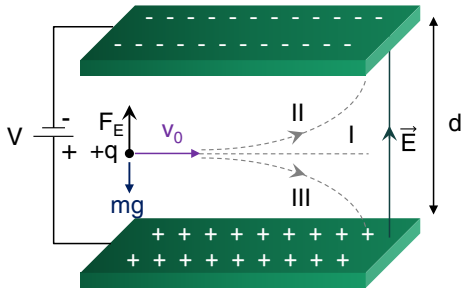
b)



Bu durumda tanecik zıt yönlü F_E ve mg kuvvetleri etkisinde kalır. Bu kuvvetlerin bileşkesi dikkate alınarak,

- F_E = mg ise dengede kalır.
- F_E > mg ise F_E yönünde hızlanır.
- mg > F_E ise mg yönünde hızlanır.

c)

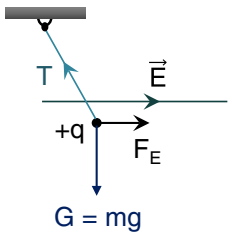


Yüklü tanecik elektrik alana dik doğrultuda bir ilk hızla atılırsa;

- F_E = mg ise I yörüngesinde hızını korur.
- F_E > mg ise II yörüngesinde hızlanır.
- mg > F_E ise III yörüngesinde hızlanır.

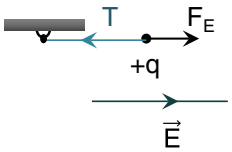
+q yüklü tanecik elektrik alan yönünde F = q . E büyüklüğünde bir elektrik kuvvet varken;

a)



Taneciğin ağırlığı önemsenirse mg büyüklüğünde ağırlık ve ipte oluşan T gerilme kuvveti etkisinde dengede kalır.

b)



Taneciğin ağırlığı önemsenmezse tanecik F_E ve T ip gerilmesi ile dengede kalır.

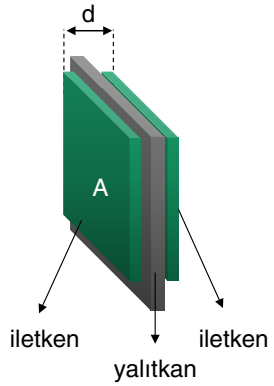
SIĞA KAVRAMI VE SIĞAÇLAR

SIĞA (KAPASİTE)

Maddelerin belirli miktarlarda elektrik yükü depolayabilme yetenekleri vardır. İletken maddelerin elektrik yükü depolayabilme ölçüsüne **sığa (kapasite)** denir.

İletkende depolanan yük miktarı, iletkenin sığası ile doğru orantılıdır. Sığa C sembolü ile gösterilir ve SI'da birimi Farad (F) dır.

SIĞAÇ (KONDANSATÖR)



İki iletken levha ve aralarında bulunan yalıtkan bir ortamdan oluşan sisteme **sığaç** denir. Sığaçlar elektronik devrelerinde elektrik yüklerini depo edebilmek amacıyla kullanılır.

Sığaçlar yapılarına göre düzlem, silindirik, küresel yapılarda olabilir. Levhalar arasındaki yalıtkan ortam hava, kâğıt, porselen, cam gibi maddeler olabilir.

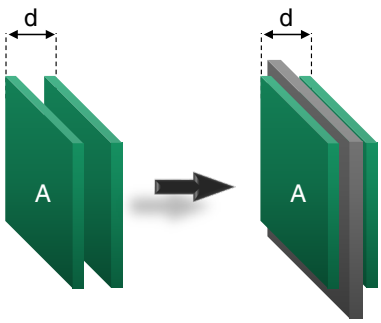
Sığacın paralel levhalardan birinin yüzeyi A, levhalar arası uzaklık d, levhalar arasındaki yalıtkanın dielektrik katsayısı ε ise, bu sığacın sığası;

$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}$ eşitliği ile hesaplanır.

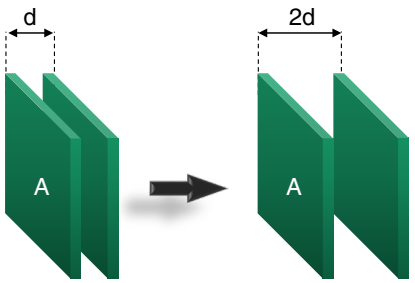
	Sığa	Alan	Di elektrik katsayısı	Uzaklık
Sembol	C	A	ε	d
Birim	Farad (F)	Metrekare (m^2)	Farad/metre	Metre (m)

Bir Sığacın Sığası Nasıl Değiştirilebilir?

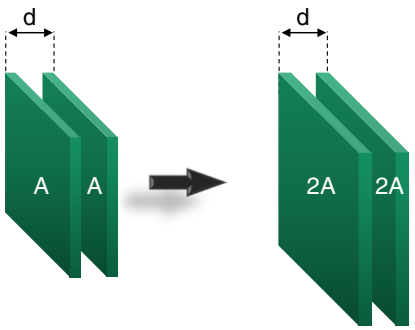
$C = \varepsilon \cdot \frac{A}{d}$ bağıntısına göre bir sığacın sığası ε, A ve d niceliklerine bağlıdır.



Levhaların arasında hava varken ε dielektrik katsayısı havadan daha büyük bir madde ile değiştirilirse (cam, parafin, porselen vb.) sığa artar.



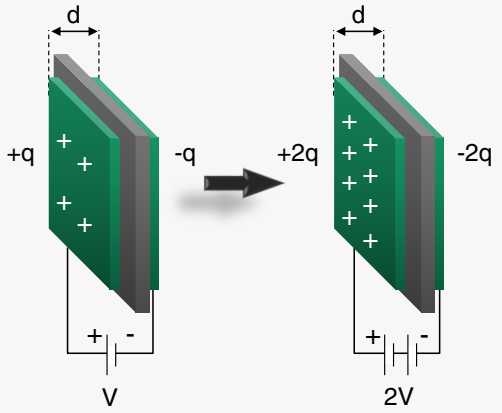
Levhaların arasındaki uzaklık d iken sığa C ise uzaklık 2d yapılırsa sığa azalır ve C/2 olur.



Levhaların alanları A iken sığa C ise 2A yapılırsa sığa 2C olur.

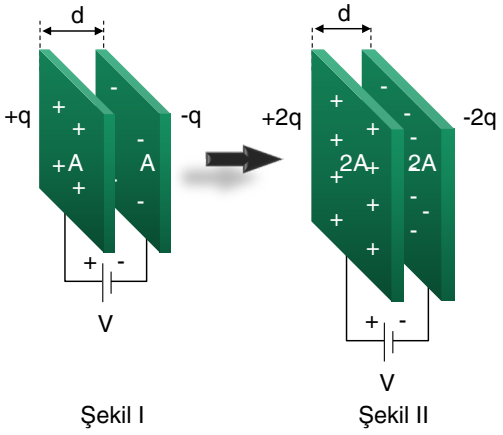
DİKKAT

Bir üretece bağlı sığacın üreteç gerilimi artırılırsa sığacın sığası değişmez fakat yükü artar.



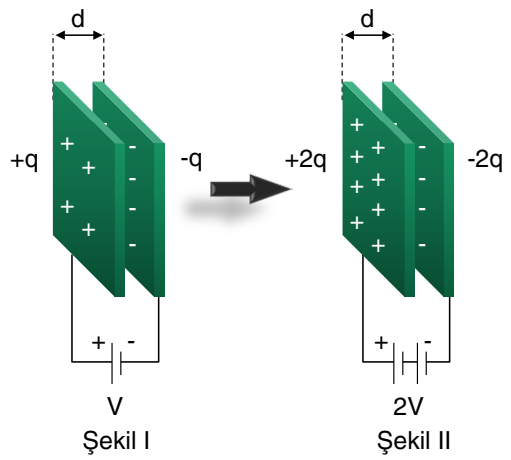
Bir Sığacın Yükü Nasıl Değiştirilebilir?

Bir sığacın yükü (q); C sığa büyüklüğüne ve üretecin V gerilim değerine bağlıdır.



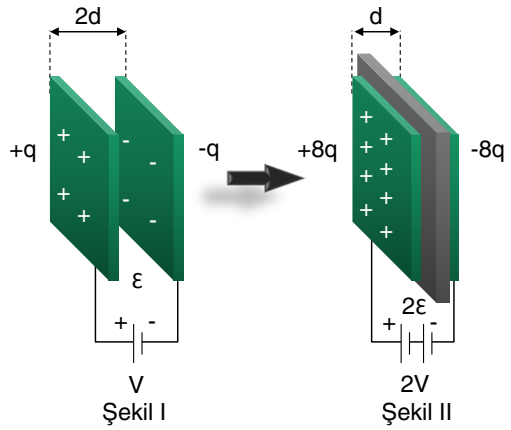
Şekil I'de sığacın sığası C, yükü q ise; Şekil II'de levhaların alanları iki katına çıkarılırsa sığa 2C olur.

Aynı üreteç gerilimi altında levhaların kazanacağı yük de iki katına çıkar.



Şekil I'de sığacın sığası C, yükü q ise; Şekil II'de levhaların alanları (A), d uzaklığı ve levhalar arası ortam değişmediği için sığa (C) değişmez .

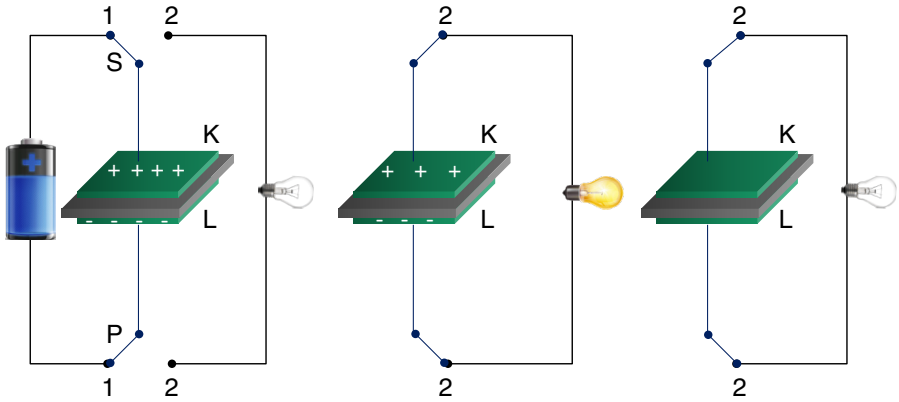
Üreteç gerilimi iki katına çıkarıldığı için levhaların kazanacağı yük iki katına çıkar.



Şekil I'de sığacın sığası C, yükü q ise; Şekil II'de hem levhalar arası uzaklık yarıya indirildiği hem de ortamın dielektrik katsayısı iki katına çıkarıldığı için sığa 4C olur.

Ayrıca üreteç gerilimi de iki katına çıkarıldığı için yük 8 katına çıkmış olur.

<u>Bir sığaç üreteç gibi davranabilir.</u>

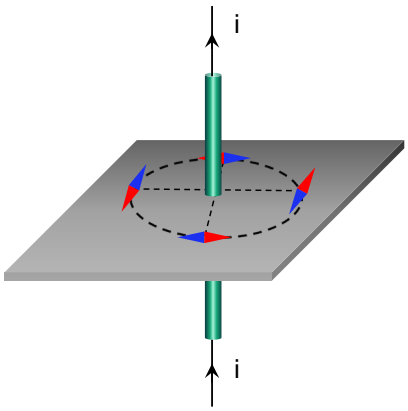


- Şekildeki devrede P ve S anahtarları 1 durumunda iken K ve L levhaları üretece bağlı olarak elektrik yükü kazanırlar.
- P ve S anahtarları 2 konumuna getirildiğinde sığaç bir üreteç gibi davranarak kendisine bağlı olan lambanın ışık vermesini sağlar fakat bu akım kısa sürelidir.
- Sığacın levhaları arasında potansiyel farkı kalmadığında lamba söner.

MANYETİK ALAN

ELEKTRİK AKIMININ MANYETİK ETKİSİ

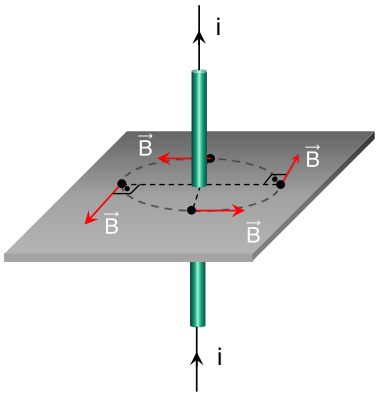
Üzerinden akım geçen bir iletken telin çevresine yerleştirilen bir pusula ibresinin saptığı gözlenir. Pusula ibresinin sapmasının nedeni hareket eden yüklerin çevrelerinde oluşan manyetik alandır.



Üzerinden i akımı geçen iletken telin çevresine yerleştirilen pusula iğnesinin yönelimleri

DÜZ TELDEN GEÇEN AKIMIN OLUŞTURDUĞU MANYETİK ALAN

Akım taşıyan düz bir telin çevresinde meydana gelen manyetik alan çizgileri, tel doğrultusu merkez olacak şekilde çizilen çemberler biçimindeki yörünge üzerinde oluşur.



İ akımı geçen iletken telin çevresindeki bazı noktalarda manyetik alan vektörleri

DİKKAT

Sayfa düzlemine dik dışarı doğru (⊙)

Sayfa düzlemine dik yönü içeri (⊗)

Telden d kadar uzaklıkta bir noktada manyetik alan şiddeti;

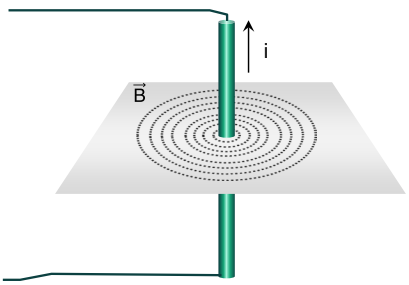
$$B = K \cdot 2 \cdot \frac{i}{d}$$

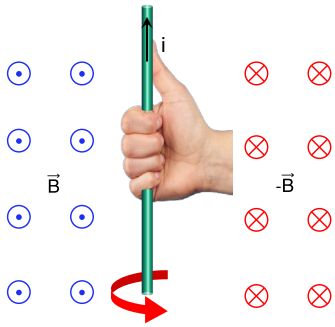
	Manyetik Alan	Akım Şiddeti	Uzaklık	Manyetik Alan Sabiti
Sembol	B	i	d	K
Birim	Tesla (N/amp.m)	Amper (amp)	Metre (m)	Tesla.metre/amper

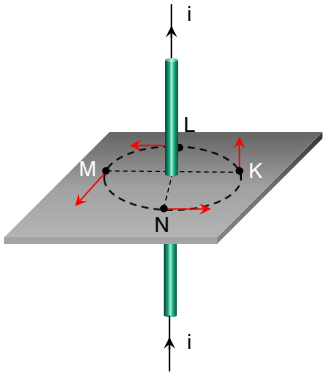
$K = 10^{-7}$ Tesla.metre/amper

Manyetik alan vektörel büyüklüktür.

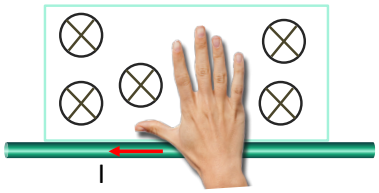
Manyetik alan yönü sağ el kuralına göre bulunur. Bunun için sağ elimizin baş parmağı akım yönünü gösterecek şekilde tel avuç içine alınır. Teli saran dört parmağın dolanma yönü teli saran çemberler şeklinde dolanan manyetik alanın yönünü gösterir. Manyetik alan vektörü, dört parmak yönünde çizilen çemberlerin üzerinde istenilen noktada yörüngeye teğet olarak çizilir.





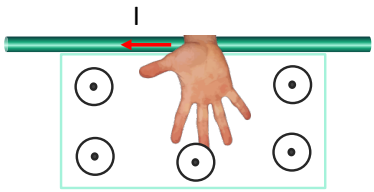


K, L, M, N noktalarında manyetik alan vektörleri gösterilmiştir.



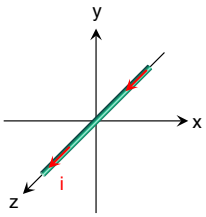
Başparmak akım yönünü göstermek üzere sağ el, telin üzerine görseldeki gibi yerleştirildiğinde telin üst tarafında avuç içi sayfa düzleminden içeri doğru olan yönü gösterir. Bu yön manyetik alan yönü olarak söylenebilir.

Bu yön ⊗ işareti ile sembolize edilir.



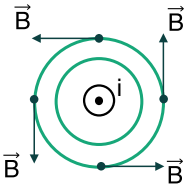
Başparmak akım yönünü göstermek üzere sağ el telin üzerine görseldeki gibi yerleştirildiğinde telin alt tarafında avuç içi sayfa düzleminden dışarı doğru olan yönü gösterir. Bu yön manyetik alan yönü olarak söylenebilir.

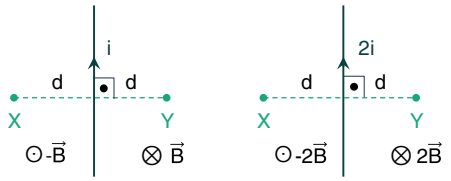
Bu yön ⊙ işareti ile sembolize edilir.



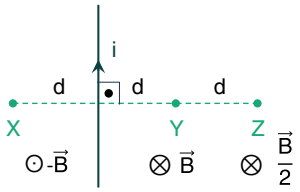
xyz koordinat sisteminde z ekseni üzerindeki telden geçen i akımı sayfa düzlemine dik yönü okuyucuya doğru olan bir yöndedir.

Bu yön ⊙ olarak gösterilir. Tel, başparmak akımı gösterecek şekilde sağ el ile tutulduğunda teli saran dört parmak çemberler şeklinde manyetik alan yönlerini gösterir. Bu çemberler üzerindeki bazı noktalardaki manyetik alan vektörleri şekildeki gibidir.





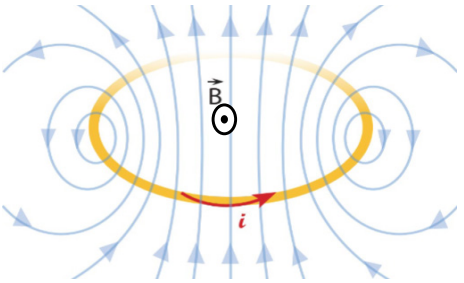
Düz telin çevresindeki bir noktada manyetik alan şiddeti akım şiddetiyle doğru orantılıdır.



Düz telin çevresindeki bir noktada manyetik alan şiddeti noktanın tele olan uzaklığı ile ters orantılıdır.

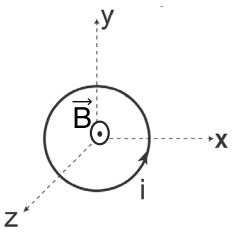
2. ÇEMBER BİÇİMİNDEKİ TELDEN GEÇEN AKIMIN OLUŞTURDUĞU MANYETİK ALAN

Çember biçimine getirilmiş x-z yatay düzleminde tutulan iletken tel üzerinden i akımının geçmesi sağlanırsa akım geçen teli saran manyetik alanlar oluşur.



İletken telin merkezindeki manyetik alan şiddeti B gösterilen yönde oluşur. Bu manyetik alanın yönü +y yönündedir.

Manyetik alanının yönünü sağ el kuralı ile gösterirsek, sağ elimizi avuç içi ile çemberi saracak şekilde tutup dört parmağımızı telden geçen i akımı yönünde ayarlarsak çemberin merkezindeki B_K manyetik alanının yönü dört parmağa dik olarak açılan başparmağımızın gösterdiği yönde olur.

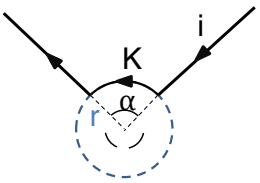


Çemberin yarıçapı r, üzerinden geçen akım i olmak üzere , çember merkezinde ve çember düzlemine dik yönde oluşan manyetik alan şiddeti ;

$$B = K \cdot 2 \cdot \pi \frac{i}{r}$$

Çember N sarımlı halde olursa manyetik alan şiddeti ;

$$B = N \cdot K \cdot 2 \cdot \pi \frac{i}{r}$$



Çember tam bir çember değilse çember parçasının merkezi olan O noktasında manyetik alan şiddeti;

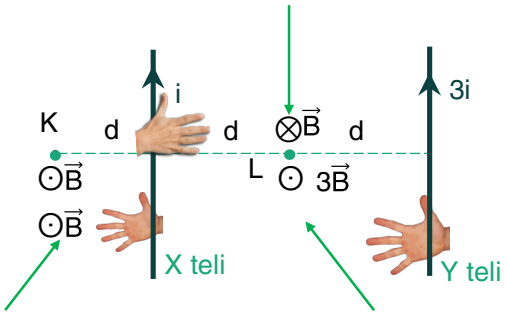
$$B = K \cdot 2 \cdot \pi \frac{i}{r} \cdot \frac{\alpha}{360}$$

BİLEŞKE MANYETİK ALAN

Bir noktada meydana gelen birden fazla manyetik alan şiddetinin bileşkesi bu noktadaki manyetik alanların vektörel toplamı alınarak bulunur.

i akımına göre sağ elin avuç içi telin sağ tarafında sayfa düzleminden içeri doğru $\vec{B}$

⊙



3i akımına göre sağ elin avuç içi Y telinin sol tarafında sayfa düzleminden dışarı doğru olup K deki manyetik alan B olur. Yönü ⊙

K noktasında bileşke manyetik alan: $2\vec{B}$

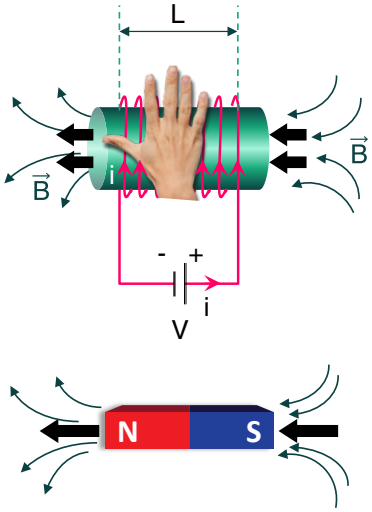
⊙

3i akımına göre sağ elin avuç içi Y telinin sol tarafında sayfa düzleminden dışarı doğru olup L deki manyetik alan 3B olur. Yönü ⊙

L noktasındaki bileşke manyetik alan: $2\vec{B}$

⊙

3. ÜZERİNDEN AKIM GEÇEN AKIM MAKARASI (BOBİN) MERKEZİNDEKİ MANYETİK ALAN



i akımı akım taşıyan, r yarıçaplı, L boyundaki N sarımlı akım makarasının içindeki manyetik alan silindir boyunca düzgün ve makara eksenine paralel olarak oluşur.

Manyetik alan çizgileri silindir içinde düzgün iken bobinin dışında gösterilen yönlerde dağılan çizgiler halinde gözlenir.

Silindir içindeki bu düzgün manyetik alanının şiddeti;

$$B = K \cdot \frac{4\pi \cdot N \cdot i}{r}$$

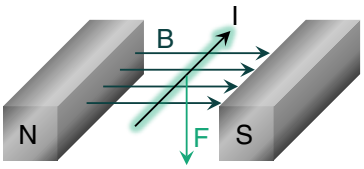
Manyetik alanın yönü sağ el kuralıyla, sağ elin dört parmağı akım yönünü gösterecek şekilde makara avuç içine alınırsa, açılan baş parmak makara içindeki manyetik alanın yönünü gösterir.

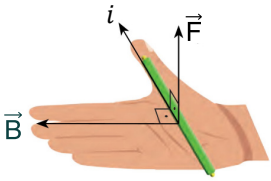
Bobin N-S kutuplu bir mıknatıs davranışı gösterdiği için bu yapıya elektromıknatıs denir.

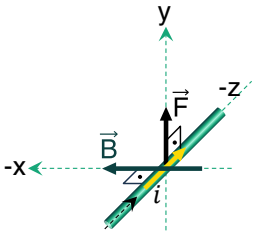
DÜZ TELE ETKİ EDEN MANYETİK KUVVET VE MANYETİK KUVVETİN DÖNDÜRME ETKİSİ

MANYETİK ALAN İÇERİSİNDEKİ AKIM GEÇEN TELE ETKİ EDEN KUVVET:

Şekildeki gibi N-S kutupları belirtilmiş mıknatıs kutupları arasına yerleştirilen telden i akımı akım geçirilirse, telin manyetik alan içindeki kısmına manyetik bir kuvvet etki eder ve bu kuvvetin yönü sağ el kuralına göre şekildeki gibi gösterilebilir.







Sağ el görseldeki gibi açılarak başparmak iletkenden geçen akım yönünü, buna dik olarak açılan dört parmak manyetik alan yönünü gösterecek şekilde yönlendirilirse, avuç içinden çıkılan dik vektör de iletken tele etkiyen F kuvvetinin yönünü gösterir.

i akımı taşıyan telin, manyetik alan içindeki L uzunluğundaki kısmına etki eden manyetik kuvvetin büyüklüğü;

$F = B \cdot i \cdot L \cdot \sin\alpha$

Bağıntıdaki α açısı B manyetik alan vektörü ile i akım yönü arasındaki açıdır.

$\alpha = 90°$ ise

$\sin 90° = 1$ olduğu için $F = B \cdot i \cdot L$ olur.

KRİTİK BİLGİ

$\alpha = 90°$ ise manyetik kuvvetin büyüklüğü maksimum olur.

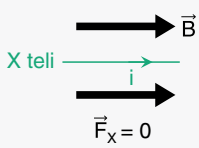
DİKKAT

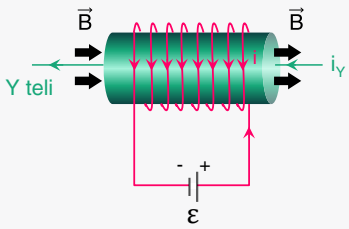
Tel manyetik alana paralel ise;

$F = B \cdot i \cdot L \cdot \sin\alpha$

$\alpha = 0$ ve $\sin 0 = 0$ olduğu için $F = 0$ olur.

Bu durumda manyetik alandan dolayı akım taşıyan tele bir kuvvet etkisi yoktur.



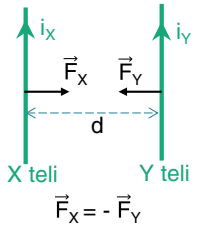


Bobindeki akım nedeniyle silindir içinde oluşan $\vec{B}$ manyetik alanı, i_Y akımı taşıyan Y teline paralel ve zıt yönlüdür. Bu nedenle Y teline manyetik bir kuvvet etki etmez.

ÜZERİNDEN AKIM GEÇEN PARALEL İKİ TELİN BİRBİRLERİNE ETKİSİ

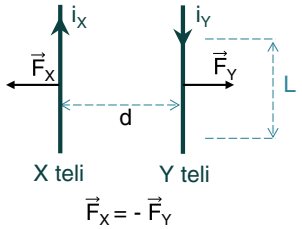
Akım taşıyan X ve Y iletkenleri birbirlerinin manyetik alanı içinde kalır ve bundan dolayı aralarında manyetik kuvvet oluşur. Bu kuvvet X ve Y iletken tellerinin birbirini çekmesi veya itmesi şeklinde gözlenir.

Akımlar aynı yönlü ise;



i_X akımı taşıyan X teli ile i_Y akımı taşıyan Y teli birbirlerine çekme kuvveti uygularlar.

Akımlar zıt yönlü ise;



i_X akımı taşıyan X teli ile i_Y akımı taşıyan Y teli birbirlerine itme kuvveti uygularlar.

Birbirlerine paralel konumda akım taşıyan X ve Y iletkenlerinin birbirlerine uyguladıkları itme ya da çekme manyetik kuvvetlerinin büyüklüğü;

$$F_X = F_Y = K \cdot 2 \cdot \frac{i_X \cdot i_Y}{d} \cdot L$$

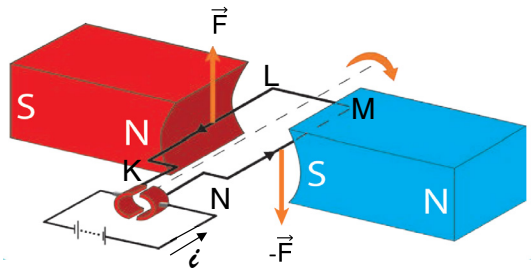
DİKKAT

Akımlar eşit olsun ya da olmasın, birinci telin ikinci tele uyguladığı kuvvetin şiddeti, ikinci telin birinci tele uyguladığı kuvvetin şiddetine daima eşit ve zıt yöndedir.

$$\vec{F}_X = -\vec{F}_Y$$

$$F_X = F_Y$$

AKIM TAŞIYAN TELE ETKİYEN MANYETİK KUVVETİN DÖNDÜRÜCÜ ETKİSİ



Şekildeki mıknatısın kutupları arasına yerleştirilmiş iletken dikdörtgen tel çerçeveden akım geçmesi sağlandığında çerçevenin K-L ve M-N kenarlarına şekildeki gibi manyetik kuvvetler etki eder. Bu kuvvetlerin oluşturacağı tork etkisiyle çerçeve manyetik alan içinde dönmeye başlar. Böylece elektrik enerjisi mekanik enerjiye dönüşür.

Sürtünmelerin ihmal edilmesi durumunda üzerinden i şiddetinde akım geçen, KL uzunluğu L, LM uzunluğu d yüzey alanı A = L . d olan çerçeveye B manyetik alanı içinde etki eden torkun büyüklüğü;

$\tau = B \cdot i \cdot L \cdot d = B \cdot i \cdot A$

Sarım sayısı N olan çerçevede oluşan tork

$\tau = N \cdot B \cdot i \cdot A$

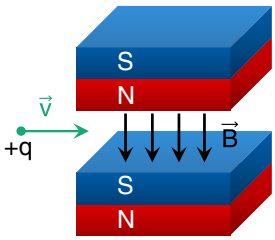
KRİTİK BİLGİ

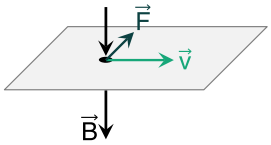
Manyetik alanda akım taşıyan tel çerçeveye etki eden tork bağıntısı, çerçevenin şeklinden bağımsızdır. Çerçevenin şeklinin üçgen, çember ya da dikdörtgen olması önemli değildir.

YÜKLÜ PARÇACIKLARIN MANYETİK ALAN İÇİNDEKİ HAREKETİ

MANYETİK ALAN İÇİNDEKİ YÜKLÜ TANECİKLERE ETKİ EDEN KUVVET

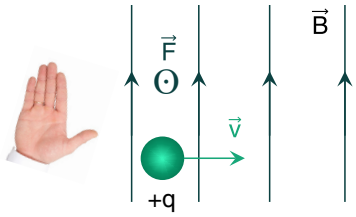
Elektrik yükü q olan bir parçacık v hızıyla manyetik alana girdiğinde parçacığa etki eden manyetik kuvvet;

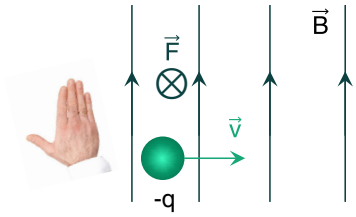




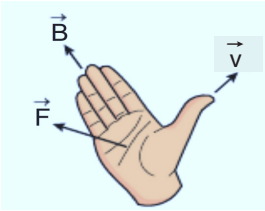
$$F = q \cdot V \cdot B \cdot \sin\alpha$$

α açısı parçacığın $\vec{v}$ hız vektörü ile $\vec{B}$ manyetik alan vektörü arasındaki açıdır. Bu açı 90° ise yani tanecik manyetik alana dik olarak girerse,





$$F = q \cdot V \cdot B$$



Manyetik alan içine dik olarak giren taneciğe etki eden manyetik kuvvetin yönü sağ el kuralı ile bulunur. Dört parmak $\vec{B}$ yönü, başparmak taneciğin $\vec{v}$ hız vektörü olarak ayarlanırsa avuç içinden çıkılan dikme yönü de $\vec{F}$ manyetik kuvvetin yönünü gösterir.

NOT

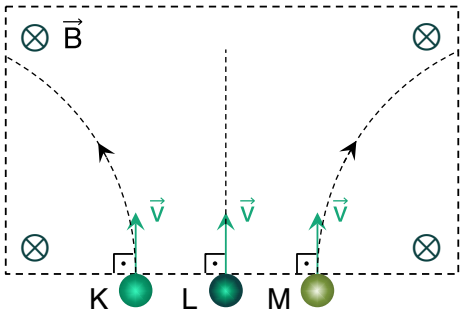
Taneciğin yükü negatif (-) olursa başparmak taneciğin hız vektörünün ters yönüne doğru çevrilir.

DİKKAT

Yüke etkiyen manyetik kuvvet, yükün hız vektörü, manyetik alan her zaman birbirine dik olur.

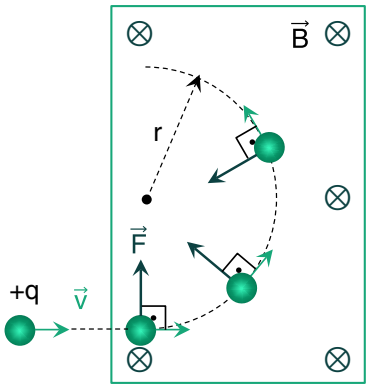
Manyetik Alana Dik Olarak Giren Yüklü Taneciğin Yörüngesi

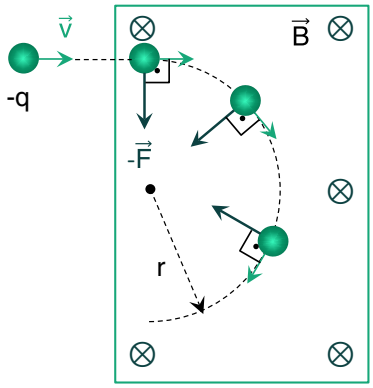
Bir manyetik alana dik olarak giren yüklü taneciğe etki eden kuvvet, hıza dik olduğu için sağ el kuralıyla sapma yönleri bulunabilir.



Şekilde içe doğru olan manyetik alana $\vec{v}$ hızıyla giren K, L, M parçacıkları sapmaya uğramıştır. Sapma yönlerine bakıldığında K parçacığının +, L parçacığının nötr, M parçacığının - olduğu görülmektedir.

Parçacıklar hızın büyüklüğü değişmeden sadece ilk hız doğrultusundan sapma yaparak manyetik alandan çıkabilir.





Tanecik, manyetik alan içinde kalıyorsa çembersel bir yörünge izler. Çembersel hareket yapan yüklü taneciğe etkiyen manyetik kuvvet aynı zamanda merkezcil kuvvete eşit olur.

PÜF NOKTA

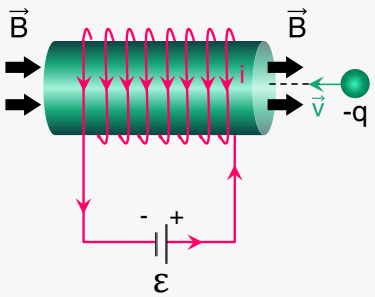
Yüklü taneciğin izlediği çembersel yörüngenin yarıçapı;

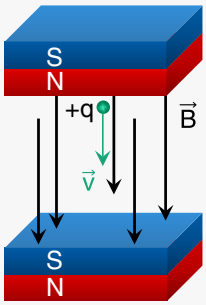
- Taneciğin kütlesi (m) ve hızı (v) ile doğru orantılıdır.
- Ortamın manyetik alan şiddeti (B) ve taneciğin yük miktarı (q) ile ters orantılıdır.

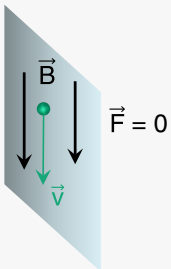
DİKKAT

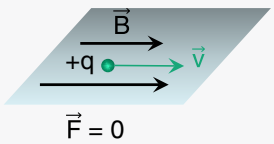
Her yüklü ve hareketli taneciğe manyetik kuvvet etki etmez.

+ veya - yüklü tanecikler manyetik alan içinde hız vektörleri manyetik alana paralel olacak şekilde hareket ederken yüklü taneciğe manyetik bir kuvvet etki etmez.







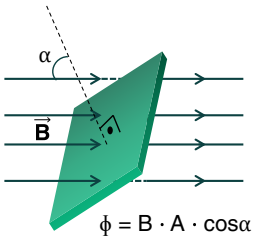


MANYETİK AKI VE İNDÜKSİYON AKIMI

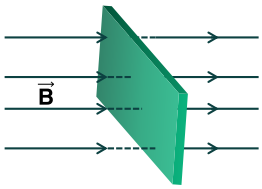
MANYETİK AKI, MANYETİK AKI DEĞİŞİMİ VE İNDÜKSİYON AKIMI

Manyetik alana dik bir yüzeyden geçen **manyetik akı** o yüzeyden geçen manyetik alan çizgilerinin sayısına bağlı bir göstergedir.

Manyetik akı,



$\phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$



$\alpha = 0^\circ$ ise $\cos 0^\circ = 1$ ve $\phi = B \cdot A$ (maksimum)

DİKKAT

α, manyetik alan doğrultusu ile yüzeyin normali arasındaki açıdır.

	MANYETİK AKI	MANYETİK ALAN	YÜZEY ALANI
Sembol	ϕ	B	A
Birim	Tesla • Metre^2 ya da Weber (Wb)	Tesla	Metre^2

NOT

Bir yüzeydeki manyetik akıyı değiştirebilmek için $\phi = B \cdot A \cdot \cos\alpha$ bağıntısındaki B, A, α değerlerinden en az birini değiştirmek gerekir.

PÜF NOKTA

$\alpha = 0^\circ$ ise $\cos 0^\circ = 1$ olduğundan manyetik akı maksimum; $\alpha = 90^\circ$ ise $\cos 90^\circ = 0$ olduğundan manyetik akı minimum değerini alır.

HATIRLAYALIM

Basit bir elektrik devresinde elektrik akımının oluşabilmesi için iletkenin uçları arasında potansiyel farkın olması gerekir. İki nokta arasında elektriksel potansiyel farkı oluştuğunda elektromotor kuvvet kaynağı, elektronları düşük potansiyelden yüksek potansiyele doğru hareket ettirmeye zorlar. Birim yükün devreyi bir defa dolanması için gerekli enerji **elektromotor kuvveti** denir.

Mıknatıs halkaya yaklaştırılıp uzaklaştırıldığında halka içindeki manyetik alan çizgi sayısı ve buna bağlı olarak manyetik akı değişir.

Bu değişim,

$\Delta\phi = \phi_{son} - \phi_{ilk}$ bağıntısı ile hesaplanır.

Halka içerisindeki manyetik akı değişimi halka üzerinde elektrik akımı oluşmasını sağlar.

Akımın oluşması devrede bir elektromotor kuvvet oluştuğunun göstergesidir. Manyetik akı değişimi ile oluşan elektromotor kuvvete indüksiyon **elektromotor kuvveti**, oluşan akıma da **indüksiyon akımı** denir.

PÜF NOKTA

Manyetik akı değişimi ne kadar hızlı ise hem indüksiyon elektromotor kuvveti hem de indüksiyon akımı o kadar büyük olur.

İletkenin kesitindeki manyetik akı değişimi iletken üzerinde bir indüksiyon elektromotor kuvveti ve dolayısı ile indüksiyon akımı oluşturur. (Faraday Kanunu) Oluşan bu elektromotor kuvveti kendisini doğuran nedene karşı koyacak yöndedir. Buna da **Lenz Kanunu** denir.

Manyetik akı değişimi ile kapalı bir devre üzerinde oluşan indüksiyon emk sı;

$\varepsilon = -\dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$ bağıntısı ile hesaplanır.

Çok sayıda halkadan oluşan akım makarasında da indüksiyon elektromotor kuvveti oluşabilir. Bu durumda N sarımlı akım makarası için oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetin büyüklüğü,

$\varepsilon = -N\dfrac{\Delta\phi}{\Delta t}$ bağıntısı ile hesaplanır.

PÜF NOKTA

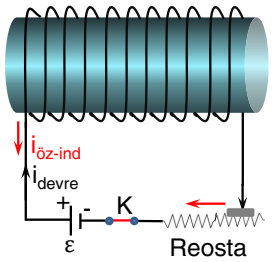
Bağıntılarda yer alan (-) işareti oluşan indüksiyon elektromotor kuvvetinin kendisini oluşturan etkiye karşı koyacak yönde olduğunu gösterir.

DİKKAT

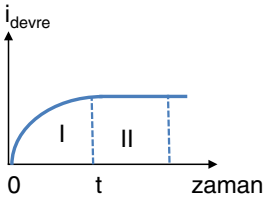
İndüksiyon elektromotor kuvvetin büyüklüğü hesaplanırken (-) işaretinin kullanılmasına gerek yoktur.

ÖZ İNDÜKSİYON AKIMI, LORENTZ KUVVETİ VE ELEKTROMOTOR KUVVETİ

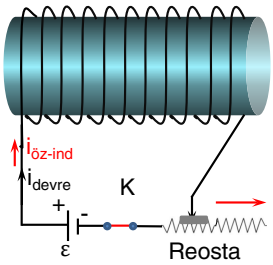
ÖZ-İNDÜKSİYON EMKSI VE ÖZ-İNDÜKSİYON AKIMI



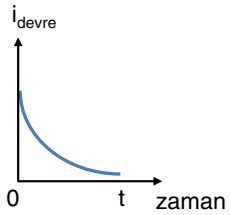
Şekildeki devrede reosta sürgüsü ok yönünde çekilirken i_{devre} akımı zamanla artar. Fakat bu artış akım-zaman grafiğindeki gibi t kadar bir gecikme süresi içinde olur. Akımın max düzeye çıkmasındaki gecikmenin nedeni bobin yapısındaki sarımlar içinde oluşan manyetik akı değişimine karşı zıt yönlü bir emk ve bir tepki akımının ortaya çıkmasıdır. Bu akımın yönü artan devre akımını azaltacak şekilde devre akımı ile zıt yöndedir. Lenz kanununa uygun olarak gerçekleşen bu emk'ya **öz-indüksiyon emksı** ve oluşan akıma da **öz-indüksiyon akımı** denir.



Akım-zaman grafiğindeki II. bölgede devre akımı maksimum değere ulaşmış olup akım sabitken devrede öz-indüksiyon akımı gözlenmez.

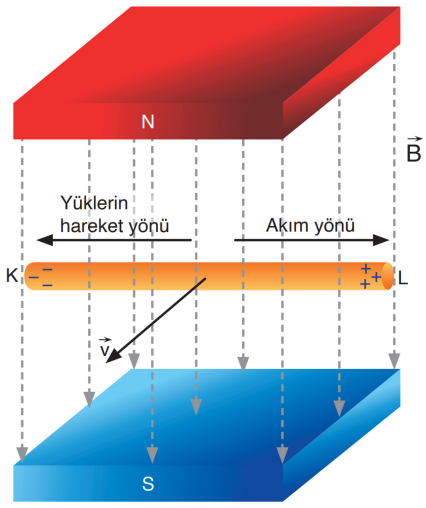


Devredeki K anahtarı açıldığında ya da reosta sürgüsü önceki hareket yönünün tersine çekildiğinde devre akım şiddeti (i_{devre}) azalırken, oluşan öz-indüksiyon emk ve akımı bu kez devre akımını artıracak (azalmasını engelleyecek) yönde olup devre akımı ile aynı yönde gözlenir.

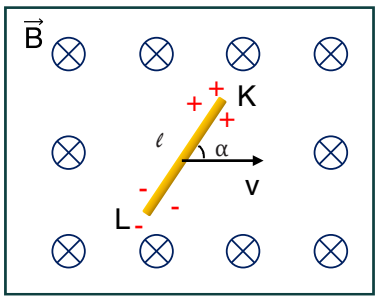


Öz-indüksiyon akımları bobinli devrelerde devre akımı artarken bu akıma ters yönde, devre akımı azalırken ise devre akımıyla aynı yönde gözlenir.

İNDÜKSİYON ELEKTROMOTOR KUVVETİ VE İNDÜKSİYON AKIMI



Manyetik alanda hareket ettirilen iletken teldeki serbest elektronların davranışı incelendiğinde elektronların iletken telde bir yönde hareket ettiği gözlemlenir. Böyle bir manyetik alanla iletken bir telin uygun şartlarda etkileşimi, iletken telde akım oluşturur. Oluşan bu akıma **indüksiyon akımı** denir. İndüksiyon akımının yönü, sağ el kuralı ile bulunur. Baş parmak hız vektörünün yönünü, dört parmak manyetik alan vektörünün yönünü gösterecek şekilde tutulduğunda avuç içinin tersi; (–) yüklerin toplandığı ucu gösterir. K ucunda (–) yükler toplanacağından L ucu (+) yüklenmiş olur.



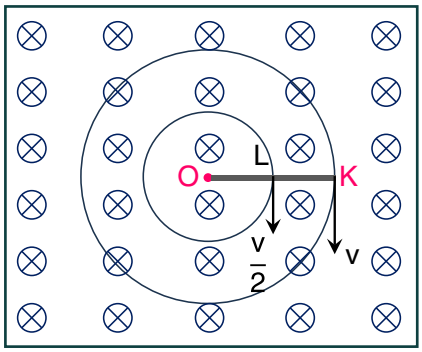
ℓ uzunluğundaki tel, manyetik alana dik olarak yerleştirilip, hız vektörü ile α açısı yapacak şekilde hareket ettirilirse, telin uçları arasındaki elektromotor kuvveti,

$$\varepsilon = B \cdot v \cdot \ell \cdot \sin\alpha$$

bağıntısı ile hesaplanır.

	Elektromotor Kuvveti	Manyetik Alan	Hız	Uzunluk	Açı
Sembol	ε	B	v	L	α
Birim	Volt	Tesla ya da Weber/m^2	m/s	m	

MANYETİK ALANDA DÖNEN TEL ÜZERİNDE İNDÜKSİYON EMK

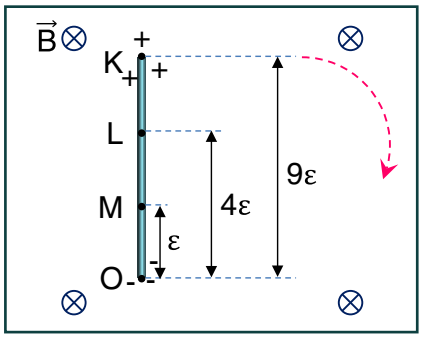


L uzunluğundaki O-K iletken teli şekildeki gibi $\vec{B}$ şiddetindeki düzgün manyetik alanda, O noktası etrafında sabit süratle döndürülürse, O-K telinin her noktası farklı hızlara sahip olur.

K uç noktasının hızı v alınırsa telin orta noktasının hızı $\frac{v}{2}$ olur.

Telin O-K uçları arasında oluşan indüksiyon emk;

$$\varepsilon = B \cdot \frac{v}{2} \cdot L$$



Üzeri eşit bölmelenmiş O-M iletken çubuğu $\vec{B}$ manyetik alanında sabit bir süratle O noktası çevresinde (manyetik alanı dik kesecek şekilde) döndürülürken iletkenin O-M, O-L ve O-K uçları arasında oluşacak indüksiyon e.m.k değerleri sırasıyla ε ,4ε ve 9ε büyüklüğünde oluşur.

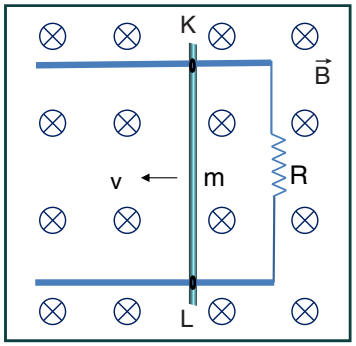
DİKKAT

Oluşan emk değerleri noktaların O noktasına olan uzaklıklarının karesi ile orantılıdır.

İNDÜKSİYON AKIMI OLUŞTURMA

Örnekleri

- **Manyetik alan içindeki kapalı tel çerçeve yüzeyinin büyütülmesi/küçültülmesi ile oluşan indüksiyon akımı**

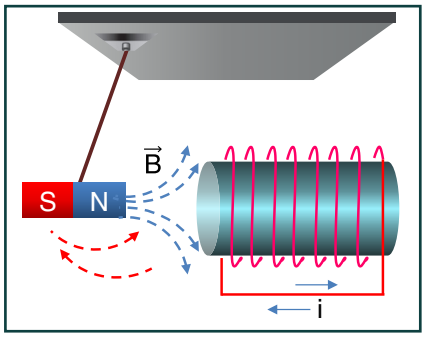


Şekilde sayfa düzleminde içeri doğru yönelmiş B manyetik alanına yerleştirilen iletken tellerle oluşturulan düzenekte L boyundaki KL iletken tel sabit v hızıyla çekilmekte ve iletken çerçevede indüksiyon akımı oluşmaktadır.

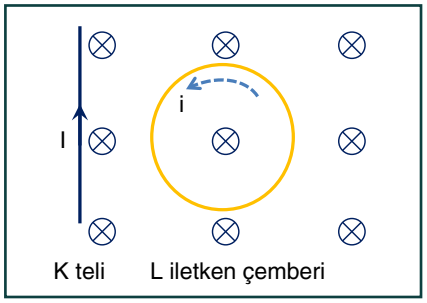
a) KL teli üzerindeki elektronlar manyetik kuvvet etkisinde K ucuna doğru hareket ederek KL telinin uçları arasında bir elektriksel potansiyel fark oluşturup kapalı R dirençli devrede dolaşan bir indüksiyon akımı gözlenmesini sağlar.

b) KL teli ile arkasındaki R dirençli kol arasındaki kapalı yüzeyde bir manyetik akı oluşur. Bu manyetik akı KL telinin hareketi süresince (yüzey büyümesi) ile yüzeydeki sayfa düzlemine dik, içeri yönde manyetik akı değişimi (manyetik akı artışı) oluşturarak iletken tel çerçeve üzerinde bir indüksiyon emk ve indüksiyon akımı meydana gelmesini sağlar.

- **Kapalı tel çerçeve yüzeyinde manyetik alan şiddetinin değiştirilmesi ile oluşan indüksiyon akımı**



Şekil de tavana asılı NS kutuplu çubuk mıknatıs şekildeki konumdan serbest bırakıldığında bobin üzerindeki kapalı devre halinde olan iletken tel sarımları üzerinde bir indüksiyon akımı oluşmasını sağlar. Mıknatısın N kutbundan çıkan B manyetik alan çizgileri mıknatıs bobine yaklaşırken bobin yüzeyinde artan, uzaklaşırken de azalan bir manyetik akı değişimine neden olurlar. Bobin yüzeyinde oluşan bu manyetik akı değişimleri de bobin üzerinde indüksiyon akımı oluşmasını sağlar.

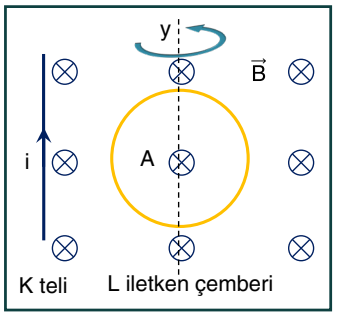


Şekilde i akımı taşıyan K telindeki akım şiddeti artırılırken iletken L çember yüzeyinde oluşan manyetik akı artış yönünde, K telindeki akım şiddeti azaltılırken de L çember yüzeyinde oluşan manyetik akı azalma yönünde bir manyetik akı değişimi oluşur. Bu nedenle L çemberi üzerinde bir indüksiyon emk'sı ve bir indüksiyon akımı oluşur.

DİKKAT

Kapalı bir devrede oluşacak indüksiyon emk'sı ve indüksiyon akımının temel nedeni bu devre yüzeyinde oluşan bir manyetik akı değişiminin gerçekleşmesidir.

- **Manyetik alan içindeki iletken çerçevenin döndürülmesi ile oluşan indüksiyon akımı**



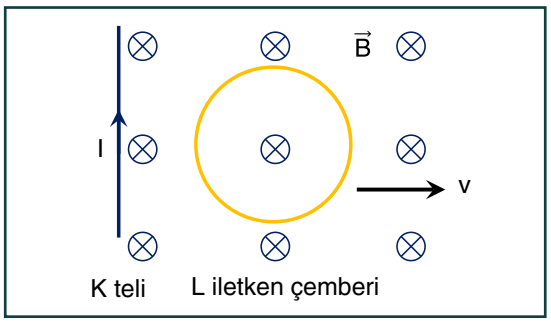
Sabit i akımı taşıyan K teli yakınındaki L iletken çemberi şekildeki konumunda iken çemberin A yüzeyinde maksimum manyetik akı oluşur.

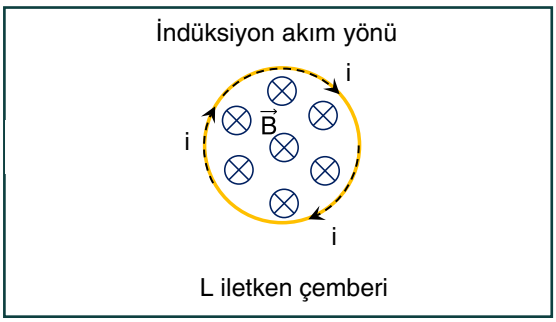
Çember y ekseni çevresinde döndürülürse yüzeydeki manyetik akı sürekli azalma/artma şeklinde bir değişime uğrar.

Bu durum L iletken çemberinde indüksiyon emk ve buna bağlı olarak da indüksiyon akımı oluşmasını sağlar.

- **Değişen manyetik alan ortamındaki iletken çerçevenin hareket ettirilmesi ile oluşan indüksiyon akımı**

Şiddeti azalan manyetik alan ortamı





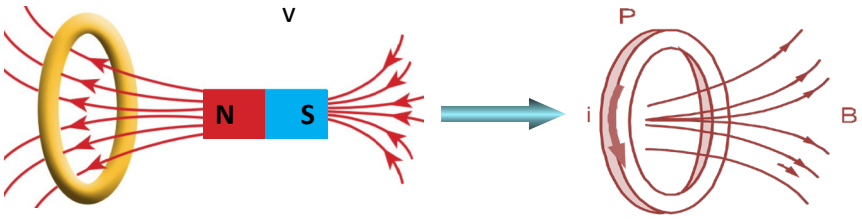
K iletken telinde i akımı sabit iken yanındaki L iletken çemberi ok yönünde v sürati ile uzaklaştırılırken çember yüzeyinde sayfa düzlemine dik yönü içeri doğru olan bir manyetik akı azalması oluşur.

L çemberinde Lenz Kanununa uygun olarak azalan manyetik akı artışına karşı oluşacak tepki manyetik alanı bu azalmayı engellemek için sayfa düzleminden yine içeri doğru bir manyetik alan oluşturmak ister. Bu nedenle L çemberinde saat yönüne doğru bir indüksiyon akımı gözlenir.

İNDÜKSİYON AKIMININ YÖNÜ

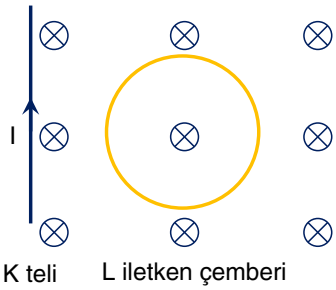
Bir kapalı iletken devresinde meydana gelen indüksiyon emk'nın devrede oluşturacağı indüksiyon akımının yönü Lenz Kanunu ile bulunur.

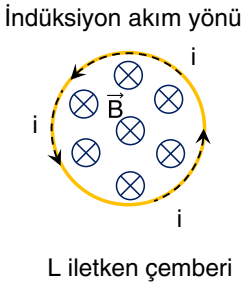
Lenz Kanunu: İndüksiyon akımının yönü bu akımı meydana getiren nedene karşı koyacak yöndedir.



NS kutuplu çubuk mıknatıs iletken P kapalı çember yüzeyine yaklaştırılınca çember yüzeyinde – x yönünde bir manyetik akı artışı gözlenir.

Lenz Kanununa göre P çemberi üzerinde oluşacak indüksiyon akımı +x yönünde bir tepki manyetik alanı oluşturacak şekilde oluşur. Sağ el kuralına göre dört parmak çemberde oluşan i indüksiyon akımını gösterecek şekilde avuç içine alınırsa başparmak tepki manyetik alanı yönünü (+x yönü) gösterir.





K iletken telinde i akımı artırılırsa yanındaki L iletken çemberi yüzeyinde sayfa düzlemine dik yönü içeri doğru olan bir manyetik akı artışı oluşur. Bu da manyetik akının değiştiğini gösterir.

L çemberinde Lenz Kanununa uygun olarak artan manyetik akı artışına karşılık oluşacak tepki manyetik alanı sayfa düzleminden dışarı doğru olabilmesi için L çemberinde saat yönünün tersine doğru bir indüksiyon akımı gözlenir.

ALTERNATİF AKIM

DOĞRU AKIM

Zamanla yönü ve şiddeti değişmeyen akıma **doğru akım** denir. Pil, akü, güneş pili, dinamo gibi elektromotor kuvvet kaynakları ile oluşturulan elektrik devrelerinde yönü değişmeyen bir elektrik akımı elde edilir.

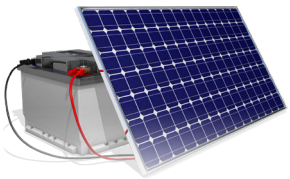
NOT

Doğru akımın yönü değişmez ama şiddeti, kaynak gerilimi değiştirilerek artırılıp azaltılabilir.

Doğru akım; telekomünikasyonda, televizyon, radyo, bilgisayar gibi elektronik cihazlarda, elektromıknatıslarda, tren, tramvay ve metro gibi elektrikli taşıtlarda ve elektroliz olayında kullanılır.

Pil

Akü


Güneş pili

Bisiklet dinamosu

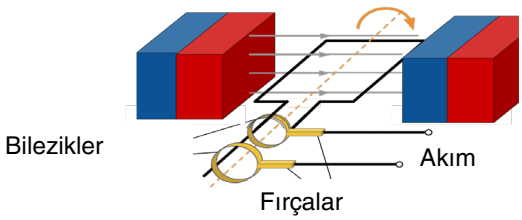
ALTERNATİF AKIM

Zamanla yönü ve şiddeti değişen akıma **alternatif akım** denir. Güçlü elektrik motorlarında, buzdolabı, çamaşır makinesi, klima gibi teknolojik aletlerde ve sokak lambalarında da alternatif akım kullanılır.

Alternatif akım kaynakları elektrik devrelerinde —(~)— sembolü ile gösterilir.

Alternatif Akım Nasıl Oluşur?

Alternatif akım, iletken çerçevenin içindeki manyetik akı değişimi ile indüksiyon akımı elde edilmesi ilkesine dayanır. Alternatif akım üretmeye yarayan araçlara **alternatör** denir.



Çerçeve periyodik olarak döndürüldüğünde halka üzerinde yönü ve şiddeti sürekli değişen alternatif gerilim ve alternatif akım oluşur.

Alternatif akım, elektrik santrallerinde çok daha büyük ve çok sayıda alternatörle üretilir. Manyetik alandaki alternatörler hidroelektrik santrallerde akan suyun mekanik enerjisiyle; termik ve nükleer santrallerde ise buhar basıncıyla döndürülerek alternatif akım elde edilir. Santrallerde üretilen alternatif akım, insanların kullanımı için evlere ve iş yerlerine iletim hatlarıyla taşınır.

Alternatif Akım ve Doğru Akım

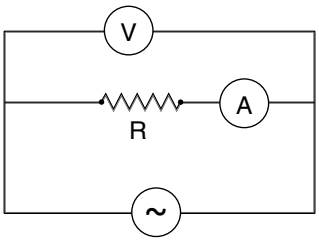
- Alternatif akım jeneratörlerinin elektrik üretim verimi, doğru akım jeneratörlerine göre çok büyüktür.
- Alternatif akım motorlarının maliyeti ise doğru akım motorlarına göre çok düşüktür ve bu motorlar çok bakım gerektirmez.

Bunun yanında doğru akımında avantajlı olduğu durumlar vardır.

- Doğru akım motorlarında gerilim sabit olduğundan devir ayarı ve düzenliliği alternatif akım motorlarına göre daha kolay yapılmaktadır.
- Doğru akım motorlarının kullanıldığı yerlerde alternatif akım, doğru akıma çevrilerek kullanılmaktadır.
- Alternatif akım ile elektroliz olayı ve akü şarjı yapılamaz.
- Doğru akımın depo edilmesi ve taşınması alternatif akıma göre daha kolaydır.
- Aynı gerilim altında doğru akım, alternatif akıma göre can güvenliği açısından daha az tehlikelidir.

Etkin Değer

Alternatif akım devrelerinde gerilim ve akımın değeri periyodik olarak değişir. Akım bir periyotluk sürede maksimum değerine iki defa ulaşır.



Alternatif akımın bir dirençte belirli bir sürede sağladığı ısı miktarı, aynı dirençte ve aynı sürede doğru akımla da elde edilebilir. Bu enerjiyi sağlayan doğru akım geriliminin büyüklüğüne ve akım şiddetine, alternatif gerilimin ve alternatif akımın **etkin değeri** denir.

DİKKAT

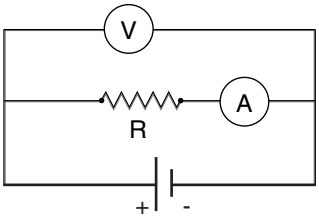
Alternatif akım devrelerinde kullanılan ampermetre ve voltmetrenin ölçtüğü değerler akım ve gerilimin etkin değerleridir. Etkin değerlerin kullanılması, alternatif akım değerlerinin doğru akım cinsinden ifade edilmesinde kolaylık sağlar.

NOT

Akım ve gerilimin etkin değerleri, maksimum değerlerinden daha küçüktür.

DOĞRU AKIM DEVRELERİNDE DİRENÇ

Doğru akım devrelerinde bulunan R direnci elektrik enerjisini ısı enerjisine dönüştürür. Direncin uçları arasındaki gerilim ve direnç üzerinden geçen akım şiddeti sabittir.



Büyüklüğü R olan dirençten geçen akım şiddeti i ve direncin gücü P ise;

$V = i \cdot R$ ve $P = i^2 \cdot R$

R direnci alternatif akım devresine bağlanırsa direnç yine Ohm Yasasında olduğu gibi akıma karşı gösterilen zorluğu ifade eder. Alternatif akım devrelerinde akıma gösterdiği zorluk sebebiyle sadece ısı kayıpları ile etki gösteren dirence **ohmik direnç** denir.

PÜF NOKTA

Yönünün ve şiddetinin değişmesi direncin devredeki davranışını değiştirmez.

PÜF NOKTA

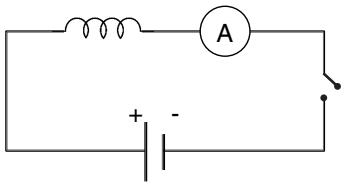
Alternatif akıma bağlı R direncinin gücü hesaplanırken akım ve gerilimin etkin değerleri kullanılır.

NOT

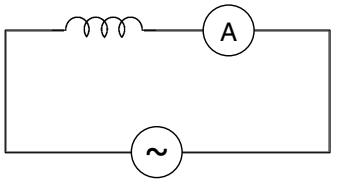
Ohmik direnç değeri alternatif akımın frekansına bağlı değildir.

İNDÜKTANS VE İNDÜKTİF REAKTANS

Bobin, şekildeki gibi bir doğru akım kaynağına bağlandığında devreden sabit bir akım geçer. Bu nedenle bobin etrafında sabit bir manyetik alan oluşur. Manyetik alan sabit olduğundan indüksiyon akımı oluşmaz. Devrelerde kullanılan bobin, iletken bir metalden yapıldığı için iletkenin direnci kadar dirence sahiptir. Buna göre devredeki direnç bobinin gösterdiği ohmik dirence eşittir.



Alternatif akım devresine bağlanan bir bobinin üzerinden geçen akımın yön ve şiddetinin sürekli değişmesi, bobinde de sürekli bir akı değişimine neden olur.



Alternatif akım devresinde bobinin direnci ohmik dirençten fazladır. Bobin şekildeki gibi alternatif gerilim kaynağına bağlanırsa bobin üzerinden geçen akım büyüklüğü maksimum değeri ve sıfır değeri arasında sürekli değişir. Bu değişim sırasında bobinde sürekli bir akım değişimi meydana gelir. Alternatif akım sıfırdan maksimum değere ulaşma sürecinde bobin, oluşan özindüksiyon elektromotor kuvvetine karşı koyarak akımı azaltmaya çalışır. Alternatif akım maksimumdan sıfır değerine ulaşma sürecinde ise bobin, akımın azalışını yavaşlatmaya çalışır. Bobin, oluşan özindüksiyon elektromotor kuvveti ile akımın değişimine direnç gösterir. Akım değişimine gösterdiği direnç nedeni ile devre koruyucu olarak da görev yapar.

Bobinin geometrik özelliklerine, ortama ve diğer fiziksel karakteristiklerine bağlı olan büyüklüğe **indüktans** denir. İndüktans L semboli ile gösterilir. Birimi henry (H)'dir. Bobinin depolayabileceği enerjinin bir ölçüsüdür.

Alternatif akım devresinde bobinin yapıldığı iletkenden dolayı sahip olduğu ohmik direncinin dışında öz-indüksiyon akımı nedeniyle devre akımına gösterdiği zorluğa **indüktif reaktans** denir. İndüktif reaktans X_L ile gösterilir. Birimi ohm (Ω)'dur. Alternatif akımın frekansı ile birlikte bobinin fiziksel özelliklerine ve ortama bağlıdır.

PÜF NOKTA

Bobin, alternatif akım devrelerinde frekansı yüksek olan alternatif akıma daha fazla indüktif reaktans uyguladığı için bu frekanstaki akımları düşük şiddetle geçirir. Düşük frekanslardaki akımları da yüksek şiddette geçirdiğinden istenilen frekans ve akım şiddetleri ayarlanabilir.

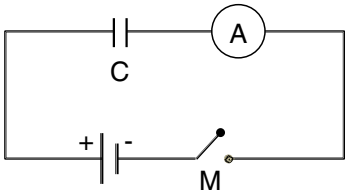
Bobinlerin Kullanım Alanları

- Radyo alıcı-verici devrelerinin yapımında bobinler kullanılır.
- Akım değişimine karşı gösterdiği direnç etkisi sebebiyle evlerde ve sanayide devre koruyucu olarak kullanılır.
- Yıldırım düşmesi ve diğer kaçak akımlarda canlıların ve elektronik cihazların zarar görmemesi için bobinli devreler kullanılır.

KAPASİTANS VE KAPASİTİF REAKTANS

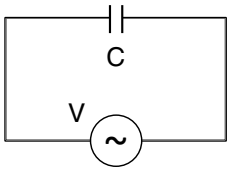
Şekildeki gibi doğru akım kaynağına bağlanan sığaçlı devrede M anahtarı kapatıldığında sığaç tamamen yükleninceye kadar devredeki akım zamanla azalır. Bu sürede sığacın gerilimi artarak doğru akım kaynağının elektromotor kuvvetine zıt ve eşit büyüklüğe ulaşır.

Sığaç tamamen dolduğu andan itibaren devreden akım geçmez.



Sığaçlar elektrik enerjisini levhaları arasında oluşan elektrik alanda depolar. Sığaç depoladığı enerjiyi bu alanın boşaltılması sırasında tekrar devreye verir. Fotoğraf makineleri ve kameralardaki flaş ışığı bu şekilde elde edilir.

Sığaç alternatif akım kaynağına bağlanırsa alternatif akımı geçirir. Uçlarına gerilim uygulandığında sığaç, gerilim değeri minimumdan maksimum değere ulaşıncaya kadar yük birikimiyle başlar.



Devrenin gerilimi sürekli değişken olduğu için sığaçtaki gerilim ile alternatif akım kaynağının gerilimi eşit oluncaya kadar akım artar. Bu gerilimler eşitlendiğinde yük akışı durur. Bu esnada gerilim yön değiştirdiğinden sığaç boşalır ve devrede ters yönde önce artıp sonra azalan bir akım ortaya çıkar.

Sığacın yük depolayabilme kapasitesine **kapasitans** denir. Kapatisans, C sembolü ile gösterilir ve birimi faraddır (F). Aynı gerilim altında sığacın depolayabileceği enerjinin bir ölçüsüdür.

Alternatif akım devrelerinde sığacın akıma karşı gösterdiği zorluğa **kapasitif reaktans** denir. Kapasitif reaktans X_C sembolü ile gösterilir. Birimi ohm (Ω)dur.

PÜF NOKTA

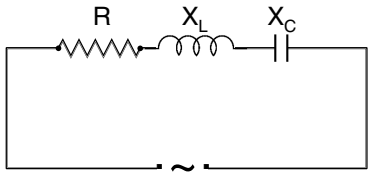
Kapasitif reaktans; alternatif akımın frekansı, sığacın fiziksel özellikleri ve levhalar arasındaki yalıtım malzemesine bağlı olarak değişir.

DİKKAT

Alternatif akım devresinde sadece sığaç varsa devrede güç (enerji) harcanmaz.

ALTERNATİF AKIM DEVRELERİNDE EMPEDANS

Alternatif akım devresinde birden fazla devre elemanı kendine has ohmik dirence sahiptir. Alternatif akım devrelerinde direnç, bobin ve sığaç tek başına bulunabileceği gibi amaca göre birlikte de bulunabilir.



Birden fazla devre elemanının kullanıldığı alternatif akım devrelerinde devre elemanlarının gösterdiği dirençlerin eş değerine **empedans** denir. Empedans, Z sembolü ile gösterilir. Birimi ohm (Ω)dur.

Belli bir frekans değerinde sığacın kapasitif reaktansı ile bobinin indüktif reaktansı birbirine eşitlendiğinde empedans en küçük değerini alır. Bu duruma **devrenin rezonans hali** denir.

Bu durumda devrenin empedansı en küçük değeri aldığından akım en büyük değerini alır. Bunu sağlayan frekans değerine de **rezonans frekansı** denir.

DİKKAT

Devre rezonans haldeyken akım maksimum değerini alır. Direnç üzerinden harcanan güç en büyük değerini alır.

NOT

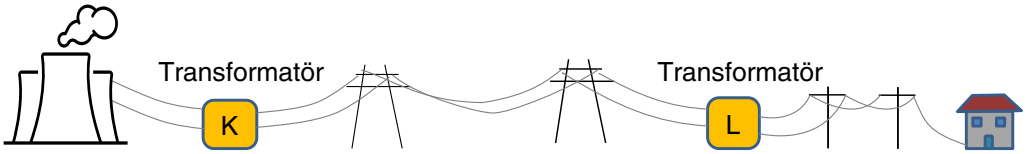
Rezonans halindeki devrede akım ve gerilim aynı fazdadır.

Aşağıda alternatif akım ile ilgili kavram ve tanımlar verilmiştir.

Rezonans	Alternatif akım devresinde akımın en büyük etkin değeri aldığı durumdur.
Empedans	Alternatif akım devrelerinde devre elemanlarının gösterdiği dirençlerin eşdeğeridir.
Kapasitans	Sığacın depolayacağı enerjinin bir ölçüsüdür.
İndüktans	Bobinin depolayacağı enerjinin bir ölçüsüdür.
Kapasitif reaktans	Alternatif akım devresinde sığacın akıma karşı gösterdiği zorluktur.
İndüktif reaktans	Alternatif akım devresinde bobinin akıma karşı gösterdiği zorluktur.

TRANSFORMATÖRLER

Kullanım amacına göre alternatif akımı ya da potansiyel farkını yükseltebilen ya da alçaltabilen araçlara **transformatör (trafo)** denir. Elektrik akımının uzak mesafelere taşınması sırasında iletim hattının direnci yüzünden oluşan ısıya dönüşen enerjiyi en aza indirmek için yüksek gerilime sahip alternatif akım tercih edilir. Elektrik santrallerinde üretilen elektriğin gerilimi ihtiyaca göre yükseltilir.



PÜF NOKTA

Çok yüksek olan gerilimin evlerde ve iş yerlerinde doğrudan kullanılması mümkün değildir. Elektrik akımı yerleşim yerlerine veya iş yerlerine ulaştığında gerilim düşürülerek kullanılabilir seviyeye getirilir.

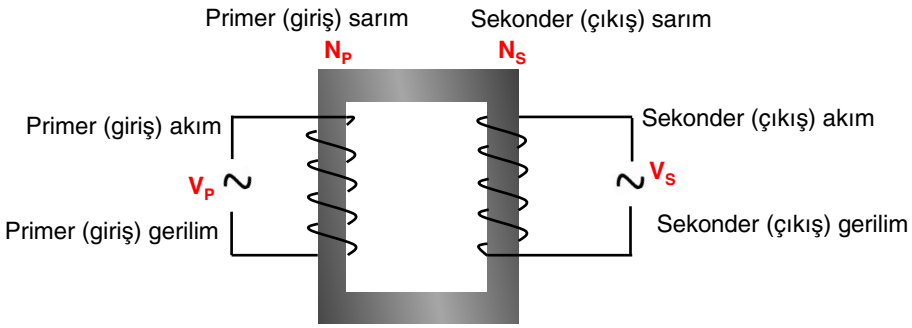
Elektrik santralinde elde edilen gerilim V, akım şiddeti i ise iletim hattına sağlanan güç;

$$P = V \cdot İ$$

DİKKAT

Gerilim artırıldığında güç kaybını azaltmak için akım azaltılır.

İdeal bir transformatörün ana bileşenleri iki bobindir. Bobinler birbirinden yalıtılmıştır. Ancak ikisi de aynı demir çekirdek üzerindedir.



Alternatif akım, primer bobinde değişken bir manyetik akı oluşturur. Primer bobindeki manyetik akı değişimi, sekonder bobinde de oluşur. Bu da sekonder bobinde bir indüksiyon elektromotor kuvveti oluşmasını sağlar.

- Sarım sayıları $N_P > N_S$ ise çıkış gerilimi giriş geriliminden düşük olur. Böyle transformatörlere **alçaltıcı transformatörler** denir.
- Sarım sayıları $N_S > N_P$ ise çıkış gerilimi giriş geriliminden yüksek olur. Böyle transformatörlere **yükseltici transformatörler** denir.

Demir çekirdeğinde ve tellerinde güç kayıpları ihmal edilen transformatör, ideal bir transformatördür ve verimi %100'dür.

İdeal bir transformatörde primer bobindeki güç (P_P), sekonde bobindeki güce (P_S) eşit olur. Buradan

$P_P = P_S$

$V_P \cdot i_P = V_S \cdot i_S$

$\frac{V_P}{V_S} = \frac{i_S}{i_P}$ olarak bulunur.

Bağıntı, sarım sayısı ve gerilim arasındaki doğru orantıyla birlikte

$\frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{i_S}{i_P}$ olur.

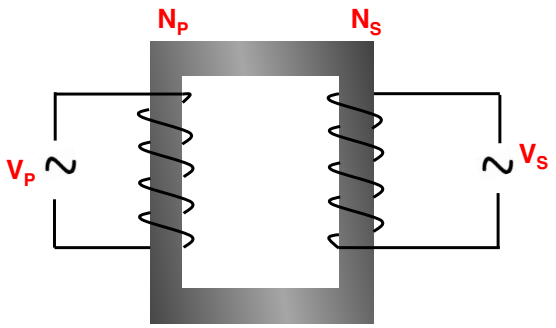
DİKKAT

İdeal bir transformatörde giriş gücü ile çıkış gücü eşit olur.

Akımın ısı etkisinden dolayı transformatöre girişte verilen enerji ile çıkışta alınan enerji eşit olmaz. Bu nedenle giriş gücü çıkış gücünden büyük olur. Böyle transformatörlere ideal olmayan transformatörler denir.

VERİM

Çıkışta alınan gücün girişte verilen güce oranını ifade eder.

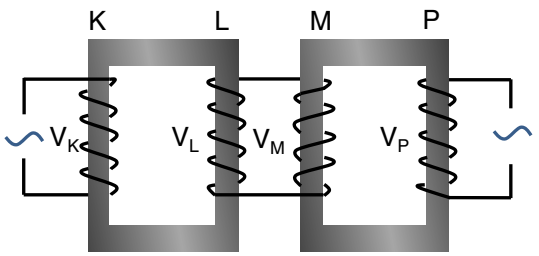


$$\text{Verim} = \frac{\text{Alınan güç (Sekonder)}}{\text{Verilen güç (Primer)}}$$

$$\text{Verim} = \frac{V_S \cdot i_S}{V_P \cdot i_P}$$

PÜF NOKTA

İdeal kabul edilen transformatörlerde verim %100'e ulaşırken gerçek hayatta verim %100'e ulaşamaz.



Şekildeki gibi iki çekirdekli bir bobinde,

$$\frac{N_K \cdot N_M}{N_P \cdot N_L} = \frac{V_K}{V_P}$$

DÜZGÜN ÇEMBERSEL HAREKET KAVRAMLARI

PERİYOT:

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, bir dönüşü tamamlaması için gerekli olan süre **periyot** olarak adlandırılır. Periyot, sembolü "T" ve SI'da birimi saniye (s) olan bir zaman dilimidir. Periyot kavramı, düzenli aralıklarla tekrarlanan olaylar için kullanılır.

Uydunun Dünya etrafında tam bir tur dönmesi için geçen süre uydunun periyodudur.

Kendi ekseni etrafında dönen teker görselini düşünecek olursak, tekerleğin bir kez dönüp başladığı noktaya gelmesi ile bir periyotu tamamlamış olur. Burada tekerlek üzerinde işaretlenen bir noktanın dönerek başladığı noktaya ilk kez gelmesi ile yaptığı tam dönüş, bir periyodu ifade eder.

Yelkovan: Saatin dakika göstergesidir ve saatte bir çemberin etrafında tam bir dönüş yapar. Yani yelkovanın bir tam dönüş yapması için geçen süre 60 dakikadır. Bu, yelkovanın periyodudur. Bu da yelkovanın frekansının saatte bir olduğu anlamına gelir.

Akrep: Duvar saatinin saat göstergesidir ve 12 saatte bir çemberin etrafında tam bir dönüş yapar. Akrebin bir tam dönüş yapması için geçen süre 12 saattir ki bu da akrebin periyodudur. Buna karşılık, akrebin frekansı günde iki kez tam dönüş yapar şeklinde ifade edilebilir.

Hubble Uzay Teleskobu (HST)

Dünya etrafında bir turunu yaklaşık 95-97 dakikada tamamlar, 1 günde yaklaşık 15 kez Dünya etrafında dönüş yapar.

Uluslararası Uzay İstasyonu (ISS)

Dünya etrafında bir turunu Yaklaşık 90 dakika tamamlar, günde yaklaşık 16 kez Dünya etrafında dönüş yapar.

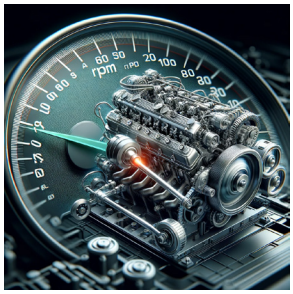
FREKANS:

Çembersel hareket yapan bir cismin, birim zamandaki tur sayısına "frekans" denir ve bu, cismin ne kadar hızlı hareket ettiğinin bir ölçüsüdür. Frekans, "f" harfi ile simgelenir ve SI'da birimi 1/saniye (s^{-1}) ya da hertzdir (Hz). Hertz (Hz), 1 saniyedeki tekrar sayısı olarak tanımlanır.

Jet motoru

Araba tekerleği

Jet motorunun frekansı, araba tekerleğinin frekansından daha yüksektir; bu da jet motorunun, araba tekerleğine göre daha hızlı döndüğü anlamına gelir.



RPM, "Revolutions Per Minute" ifadesinin kısaltmasıdır ve Türkçe'de "Dakikadaki Devir Sayısı" anlamına gelir. Örneğin dönen bir motor milinin, bir dakika içerisinde kaç kez tam tur attığını gösteren bir ölçü birimidir.

PERİYOT VE FREKANS ARASINDAKİ İLİŞKİ

Periyot, periyodik bir hareketin tamamlanması için gereken süreyi ifade ederken; frekans, birim zaman içinde gerçekleşen tam döngü sayısını ifade eder. Periyot (T) ile frekans (f) arasında ters orantı bulunur. Periyot arttıkça frekans azalır, frekans arttıkça periyot azalır.

T · f = 1 matematiksel bağıntısı ile ifade edilir.

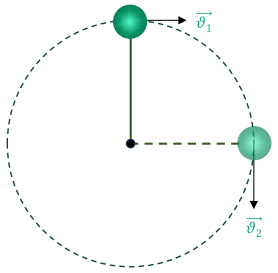
DÜZGÜN ÇEMBERSEL HAREKET

Çembersel Hareket Nedir?

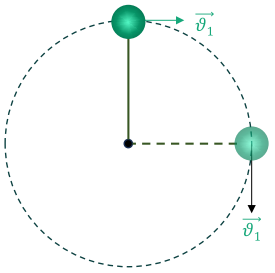
Belli zaman aralıklarında tekrarlı olarak gerçekleşen hareketlere **'periyodik hareket'** denir. Bu hareketlerin özelliği, belirli aralıklarla aynı döngünün tekrarlanmasıdır. Bir cismin sabit bir eksen etrafında çembersel yörüngedeki hareketine **'çembersel hareket'** denir. Çembersel harekette hızın büyüklüğü sabit olmayabilir.

Düzgün Çembersel Hareket Nedir?

Bir cismin sabit bir hız büyüklüğüne ve merkeze yönelik sabit bir ivmeye sahip olması durumunda, cisim düzgün çembersel bir yörünge izler. Bu tür harekete **'düzgün çembersel hareket'** denir.



Çembersel Hareket

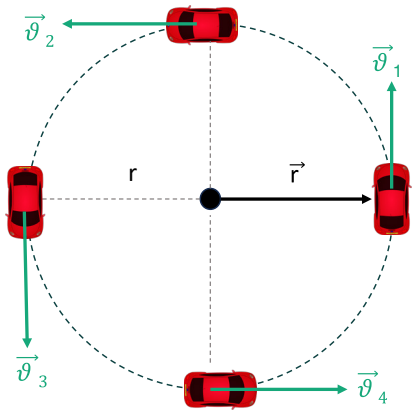


Düzgün Çembersel Hareket

DİKKAT

Düzgün çembersel harekette hız vektörü sürekli değiştiği için hız sabit değil, hız büyüklüğü sabittir. Yani hareketlinin sürati sabittir.

ÇİZGİSEL HIZ VE ÇİZGİSEL SÜRAT



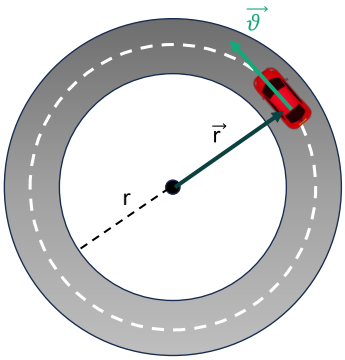
Çembersel yörüngede hareket eden bir araç düşünüldüğünde, eğer araç düzgün çembersel bir hareket yapıyorsa, yani sabit bir hız büyüklüğü ile dönüyorsa aracın çizgisel sürati her noktada aynı kalacaktır. Bu, aracın hız göstergesinde görünen değeri, çizgisel sürat değeridir. Ancak, aracın çizgisel hızı farklıdır, çünkü bu hızın bir yönü vardır ve bu yön sürekli olarak değişir. Araç yörüngenin farklı noktalarına ulaştıkça hız vektörü her zaman yörüngeye teğet olacak şekilde döner. Bu nedenle, aracın çizgisel hız vektörünün yönü yörüngenin her noktasında farklı olacaktır. Ancak sürati (çizgisel hızın büyüklüğü) sabit kalacaktır. Çizgisel hız $\vec{\vartheta}$ sembolü le gösterilir. Birimi m/s dir. Çizgisel hız vektörel bir büyüklüktür.

$\vartheta_1 = \vartheta_2 = \vartheta_3 = \vartheta_4$ çembersel yörüngede her noktadaki çizgisel süratler eşittir.

KRİTİK BİLGİ

Düzgün çembersel hareket yapan bir aracın hız göstergesinde görünen değer, çizgisel sürat değeridir.

ÇİZGİSEL HIZ BÜYÜKLÜĞÜ

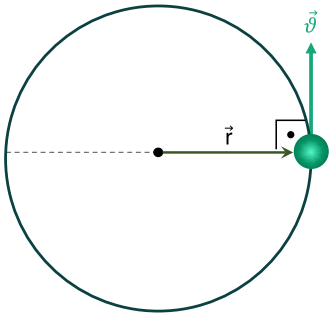


Çizgisel hızın büyüklüğünü bulmak için, çembersel yörüngede 1 tur için alınan yol, r yarıçaplı çemberin çevresine eşittir. 1 tur için geçen zaman da periyot (T) olarak alınırsa;

$$\text{Sürat} = \frac{\text{Yol}}{\text{Zaman}}$$ bağıntısından yaralanırsak

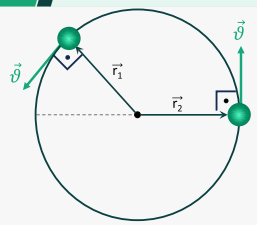
$$\vartheta = \frac{2 \cdot \pi \cdot r}{T}$$ veya $\vartheta = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot r$ olarak bulunur.

KONUM VEKTÖRÜ



Çembersel hareket yapan bir cisme çemberin merkezinden cismin bulunduğu konuma çizilen vektör konum vektörüdür, $\vec{r}$ ile gösterilir. Konum vektörü, çizgisel hız vektörüne daima diktir.

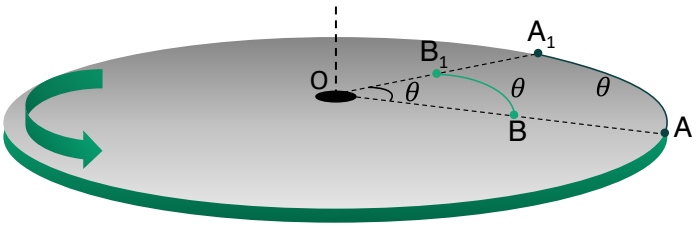
KRİTİK BİLGİ



Çembersel harekette, cisim daima merkez etrafında aynı uzaklıkta döner; bu uzaklığa yarıçap denir ve yarıçap uzunluğu sabittir. Ancak cismin yönü sürekli değişir. Yani, yarıçap vektörünün uzunluğu aynı kalır, ancak yönü sürekli değiştiği için yarıçap vektörü sürekli değişir.

$\vec{r}_1 \neq \vec{r}_2 \qquad r_1 = r_2$

AÇISAL HIZ VE AÇISAL SÜRAT



Açısal hız, birim zamanda döndürülen açı olarak ifade edilir. Diskin O merkezi etrafında saat yönünde t sürede θ açısı kadar döndürüldüğünde, disk üzerindeki tüm noktalar θ açısı kadar dönerler. Bu durumda, diskteki herhangi bir noktanın açısal hızı sabittir. Açısal hız ω sembolü ile gösterilir. Birimi (radyan/saniye)'dir. Açısal hız vektörel bir büyüklüktür. Açısal hızın büyüklüğü yani açısal sürat aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\omega = \frac{\Delta\theta}{\Delta t}$$

Burada;

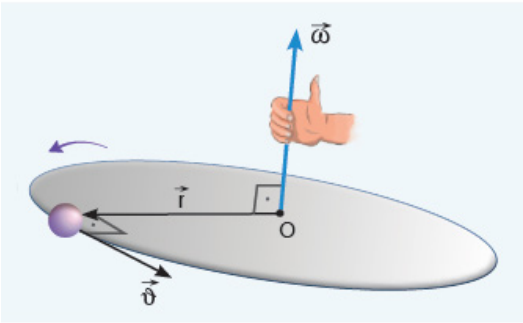
ω, açısal hızdır (radyan/saniye).

Δθ, belirli bir zaman aralığında döndürülen açısal mesafedir (radyan).

Δt, geçen süredir (saniye).

Bu formül, diskteki herhangi bir noktanın birim zamandaki dönme açısını hesaplamak için kullanılır. Diskteki herhangi bir noktanın açısal hızının sabit olduğu durumlar için geçerlidir.

AÇISAL HIZIN YÖNÜNÜN BULUNMASI



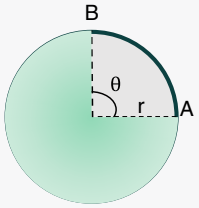
Açısal hız vektörel bir büyüklüktür. Açısal hız vektörünün yönü, sağ el kuralı ile bulunur.

Bu kuralı kullanmak için,

1. Sağ elinizi açın.
2. Dört parmağınızı cismin dönüş yönüne kıvırın.
3. Baş parmağın yönü açısal hızın yönünü verecektir.

Bu durumda, açısal hız vektörü, yarıçap vektörüne diktir.

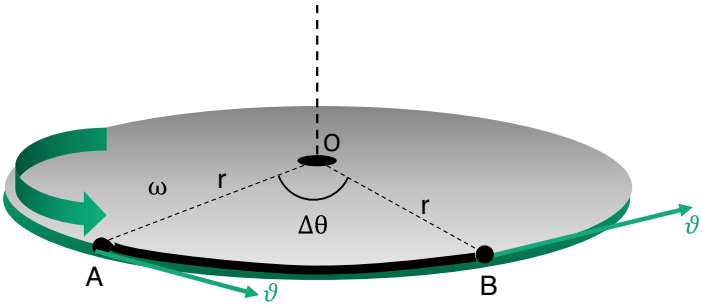
DİKKAT



AB yayının uzunluğu = r • θ

(Açı radyan cinsindendir.)

ÇİZGİSEL HIZ VE AÇISAL HIZ İLİŞKİSİ



O noktası etrafında ω açısal hızıyla döndürülen diskin üzerindeki A noktası t süre sonra Δθ açısı kadar dönerek B konumuna geliyor.

AB yayının uzunluğu = r • Δθ eşittir.

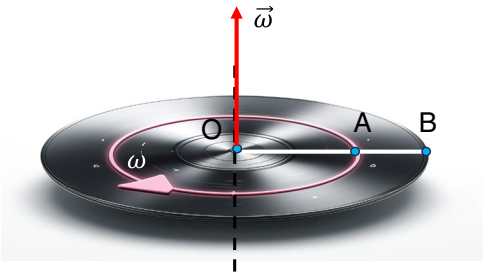
AB yayını ϑ çizgisel hız değeriyle hesaplarsak= ϑ • Δt olarak bulunur.

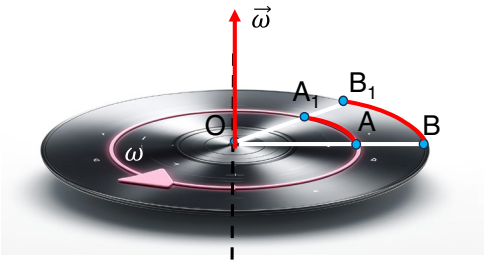
r • Δθ = ϑ • Δt eşitliğinden yola çıkarak.

$\frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \frac{\vartheta}{r}$ $\quad \frac{\Delta\theta}{\Delta t} = \omega$ yazılırsa $\omega = \frac{\vartheta}{r} \Rightarrow \vartheta = \omega \cdot r$ olarak bulunur.

$\omega = \frac{\vartheta}{r}$ ve $\vartheta = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot f \Rightarrow \omega = \frac{2 \cdot \pi \cdot \cancel{r} \cdot f}{\cancel{r}} \Rightarrow \omega = 2 \cdot \pi \cdot f$

Frekans arttıkça açısal hız büyüklüğü artar sonucuna ulaşılır.



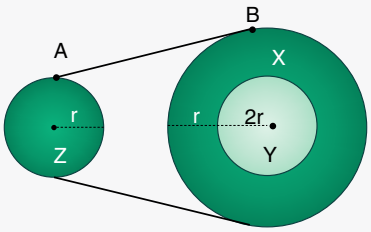


Saat yönünün tersi yönünde O noktası etrafında sabit bir açısal hızla döndürülen bir diskin merkezinden farklı uzaklıklardaki A ve B noktalarının çizgisel hızlarını karşılaştırmak için belirli bir t süre sonra B noktasının, A noktasından daha fazla mesafe katettiğini gözlemliyoruz. Bu durum, B noktasının çizgisel hızının A noktasının çizgisel hızından daha büyük olduğunu gösterir. Özetle, A ve B noktalarının açısal hızları eşitken, dönme merkezinden uzaklaştıkça çizgisel hızın büyüklüğünün arttığını söyleyebiliriz.

ϑ = ω • r formülüne göre;

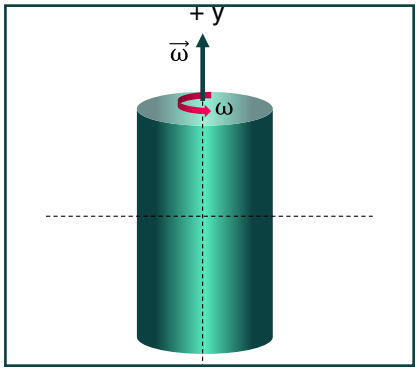
$$\left.\begin{array}{l} \vartheta_A = \omega \cdot r_A \\ \vartheta_B = \omega \cdot r_B \end{array}\right\} \quad r_B > r_A \text{ olduğundan } \vartheta_B > \vartheta_A \text{ olur.}$$

KRİTİK BİLGİ

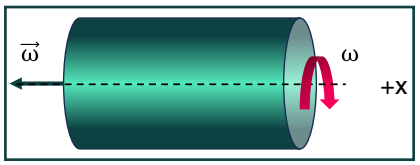


Şekildeki 3r yarıçaplı X kasnağı ile eş merkezli r yarı çaplı Y kasnağının açısal hızları eşittir. X kasnağı Z kasnağına kayışla bağlı olduğundan A ve B noktalarının çizgisel hız büyüklükleri eşittir. Z kasnağının yarıçapı X kasnağından küçük olduğundan, X e göre daha çok tur atar, böylece Z kasnağının açısal hızı daha fazladır.

$\vartheta_A = \vartheta_B \qquad \omega_Z > \omega_X = \omega_Y$

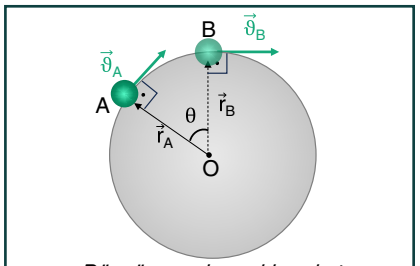


Şekildeki silindir düşey eksen etrafında saat yönünün tersine ω açısal sürati ile döndürülürse, açısal hızın yönü +y ekseni yönünde olur.



Şekildeki silindir yatay eksen etrafında şekildeki gibi ω açısal sürati ile döndürülürse, açısal hızın yönü –x ekseni yönünde olur.

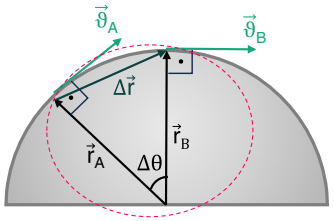
MERKEZCİL İVME ($\vec{a}$)



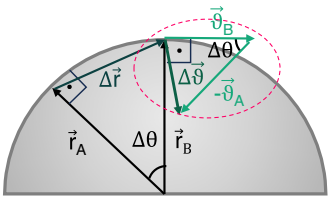
Düzgün çembersel hareket yaparak A noktasından B noktasına gelen cismin yarıçap ve hız vektörleri

Çembersel yörüngede hareket eden cismin hız büyüklüğü değişmez ancak çizgisel hız vektörü sürekli yön değiştirdiği için, hızı değişir. Bu değişim, cisim üzerinde ivme oluşturur. Oluşan bu ivmeye **merkezcil ivme** denir. Merkezcil ivmenin yönü sürekli çemberin merkezine doğrudur.

$\vec{a} = \dfrac{\Delta\vec{\vartheta}}{\Delta t}$ ifadesinden anlaşılacağı üzere t sürede hız değişimi varsa cismin üzerinde ivme vardır.



Şekil I



Şekil II

Şekil I ve Şekil II'deki ikizkenar üçgenler benzerdir.

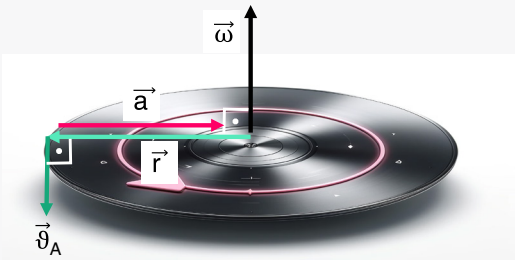
$\dfrac{\Delta\theta}{\Delta t} = \dfrac{\vartheta}{r} \Rightarrow \Delta\vartheta = \dfrac{\vartheta \cdot \Delta r}{r}$ olarak bulunur.

$a = \dfrac{\Delta\vartheta}{\Delta t}$ bağıntısında bulunan $\Delta\vartheta$ değeri yazılırsa

$a = \dfrac{\vartheta \cdot \Delta r}{r \cdot \Delta t}$ denklemi elde edilir.

$\Rightarrow \dfrac{\Delta r}{\Delta t} = \vartheta$ ve $a = \dfrac{\vartheta \cdot \Delta r}{r \cdot \Delta t}$ olduğundan $a = \dfrac{\vartheta \cdot \vartheta}{r} = \dfrac{\vartheta^2}{r} = \omega^2 \cdot r$ olur.

KRİTİK BİLGİ

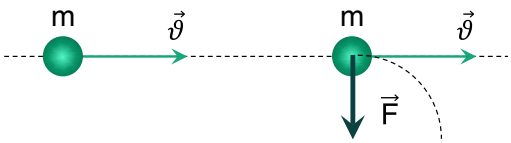


Çizgisel hız, açısal hız ve merkezcil ivme vektörleri birbirlerine dik açılar oluşturacak şekilde konumlandırılır. Yarıçap vektörü ile merkezcil ivme vektörü aynı doğrultudadır ancak zıt yöndedirler.

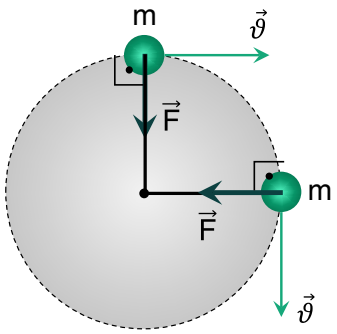
MERKEZCİL KUVVET

MERKEZCİL KUVVET VE BAĞLI OLDUĞU DEĞİŞKENLER

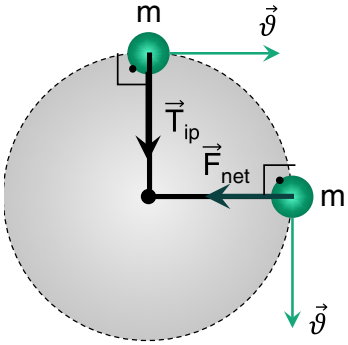
m kütleli, $\vec{\vartheta}$ çizgisel hıza sahip bir cisim eylemsizliğinden dolayı doğrultusunu ve yönünü değiştirmeden ilerler.



m kütleli, $\vec{\vartheta}$ çizgisel hıza sahip cisme, hızına sürekli dik bir sabit kuvvet uygulandığında yönünü ve doğrultusunu değiştirir.

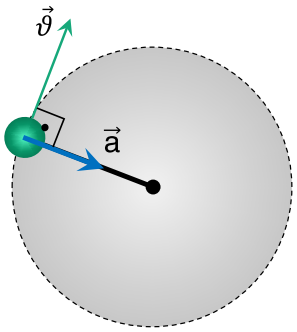


m kütleli, $\vec{\vartheta}$ çizgisel hıza sahip cisme, hızına sürekli dik bir sabit kuvvet uygulanmaya devam ederse, cisim düzgün çembersel hareket yapar. Cisme uygulanan bu kuvvet sayesinde cisim çembersel yörüngede dolanır. Yönü merkeze doğru ve çizgisel hız vektörüne daima dik bu kuvvete merkezcil kuvvet denir.



Merkezcil kuvvet cismin üzerindeki net kuvvettir, ip yardımı ile dönen cismin üzerindeki net kuvveti, ipteki gerilme kuvveti oluşturur. Net kuvvetin büyüklüğü yörünge üzerinde her noktada aynıdır, ancak her noktada net kuvvetler eşit değildir. Bunun sebebi net kuvvet vektörel bir büyüklük olup sürekli yön değiştirir.

$$F_{merkezcil} = T_{ip} = F_{net}$$

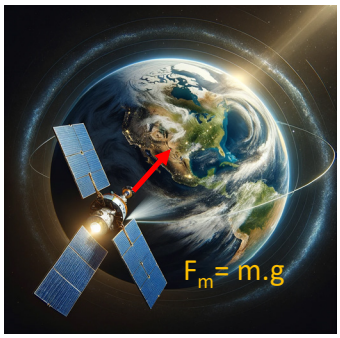


Düzgün çembersel hareket yapan bir cisim ivmeli hareket yapar, ivme vektörü merkezcil kuvvetle aynı yöndedir. Bu ivme cisme uygulanan F_{net} kuvveti sayesinde oluşur. Newton'ın (Nivtın) İkinci Hareket Kanunu uygulanarak net kuvvetin değeri hesaplanır.

$\vec{F}_{net} = m.\ \vec{a}$ bağıntısını kullanarak merkezcil kuvvetin büyüklüğünü veren bağıntı elde edilir.

$$F_{merkezcil} = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

Merkezcil kuvvet, aslında özgün bir kuvvet türü değil, dairesel bir yörüngede hareket eden bir nesnenin merkezcil ivmesine neden olan mevcut kuvvetlerin (sürtünme, kütle çekim, gerilme, elektromanyetik gibi) topluca ifadesidir. 'Merkezcil' terimi, bu kuvvetlerin yönünün daima hareketin merkezine doğru olduğunu vurgulamak için kullanılır.



Dünya'nın yörüngesinde dönen bir uyduya kütle çekim kuvveti etki eder; bu kuvvet sayesinde uydular dünya yörüngesinde çembersel yörüngede hareket edebilmektedir.

Çamaşır makinesinin yüksek hızda dönen tamburunda, tambur tarafından çamaşırlara uygulanan normal kuvvet, hem çamaşırları hem de su moleküllerini merkeze doğru iter. Ancak, çamaşırlar ile su molekülleri arasındaki sürtünme kuvveti yetersiz kaldığında, su molekülleri çamaşırlar kadar hızla merkeze doğru ivmelenemez. Bu ivmelenememe sonucu, su molekülleri çamaşırların arkasında kalır ve tamburun deliklerinden geçerek makinenin su boşaltma bölümüne gider. Bu mekanizma, çamaşırların daha etkin bir şekilde kurutulmasını sağlar.

Viraja giren bir aracın, güvenli bir şekilde yön değiştirebilmesi için sürtünme kuvvetine ihtiyacı vardır. Bu kuvvet, aracın lastikleri ile yol arasındaki etkileşimden kaynaklanır ve aracın yatay düzlemde kaymadan, istikrarlı bir şekilde virajı almasını sağlar.

DİKKAT

Çembersel hareket sırasında, cismi yörüngenin merkezine doğru çeken kuvvet dışarıdan uygulanan bir kuvvet değildir. Bu kuvvet, net kuvvetin çembersel yörüngenin merkezine doğru olan bileşenidir ve merkezcil kuvvet olarak adlandırılır.

DİKKAT

Bir cisme "merkezkaç kuvveti" diye bir kuvvet etki etmez. Merkezkaç kuvveti, dönen bir referans sistemi içindeki nesnelerin, dairesel yörüngede kalmak için gerekli merkezkaç ivmesini açıklamak üzere tanımlanan bir kavramdır ve aslında bir kuvvet değil, ivmeli referans sistemlerindeki gözlemciler tarafından hissedilen bir etkidir.

DÜZGÜN ÇEMBERSEL HAREKET YAPAN CİSİMLERİN HAREKET ANALİZİ

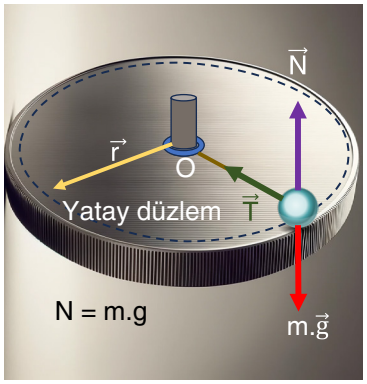
Yatay Düzlemde Düzgün Çembersel Hareket

Sabit açısal hızla dönen bir atlı karınca yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yapar.

Sabit açısal hızla dönen bir plak yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yapar.

Lunaparktaki zincirli salıncağa binen bir kişi, sabit açısal hızla döndüğünde yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yapar.

Serbest cisim diyagramları (SCD), fizikte yatay ve düşey düzlemlerde düzgün çembersel hareket yapan cisimlerin hareketini analiz etmek için sıklıkla kullanılır. Bu diyagramlar, bir cismin üzerine etki eden tüm kuvvetleri gösteren basitleştirilmiş çizimlerdir ve cismin hareket durumunu anlamak ve gerekli hesaplamaları yapmak için temel bir araç olarak işlev görür.



Sürtünmesiz yatay düzlemde çembersel hareket yapan cisim için serbest cisim diyagramı

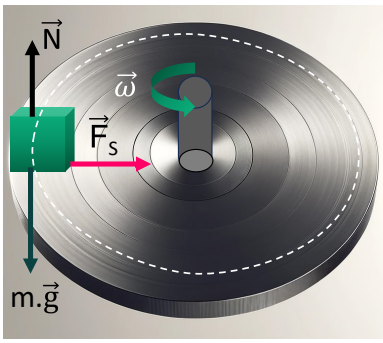
Bu diyagramda, 'm' kütleli bir cisim sürtünmenin önemsenmediği yatay bir düzlemde, 'r' uzunluğundaki bir ipin ucuna bağlı olarak düzgün çembersel hareket yapmaktadır. Cismin ağırlık kuvveti ile zeminin cisme uyguladığı $\vec{N}$ normal kuvvetinin büyüklükleri eşittir. Merkezcil kuvvet, ip boyunca çemberin merkezine doğru etki eden gerilim kuvveti (T)'dir. Merkezcil kuvvet ifadesi ipteki gerilme kuvveti olarak yazılırsa;

$$T = F_m$$

$$T = m \cdot a$$

$$T = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}$$

$T = m \cdot \omega^2 \cdot r$ olarak bulunur.



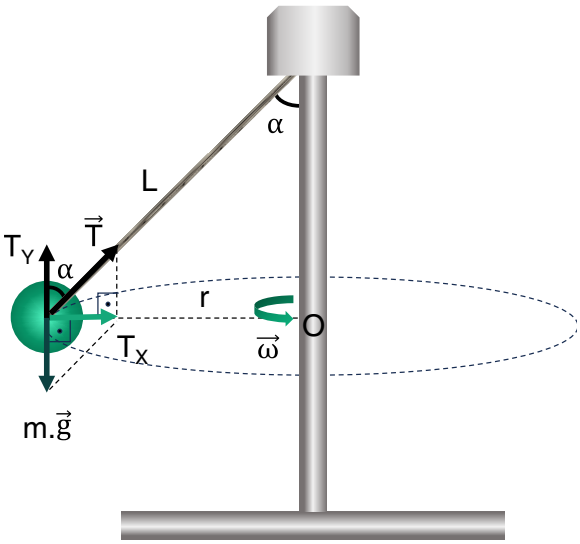
Sürtünmeli yatay düzlemde kaymadan dönen cisim için serbest cisim diyagramı

Sabit bir eksen etrafında, sabit açısal $\vec{\omega}$ hızla ve yatay sürtünmeli bir düzlem üzerinde düzgün çembersel hareket yapan bir cisim için, merkezcil kuvvet olarak sürtünme kuvveti görev yapar. Merkezcil kuvvet ifadesi sürtünme kuvveti olarak yazılırsa;

$F_s = F_m$

$F_s = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}$

$F_s = m \cdot \omega^2 \cdot r$ bağıntıları elde edilir.



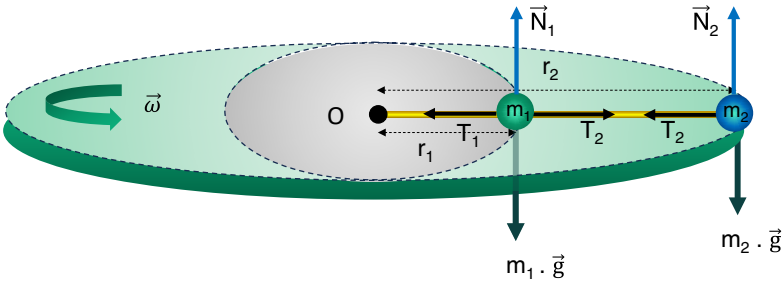
Yatay düzlemde çembersel hareket yapan cisim için serbest cisim diyagramı

Sabit bir açısal hızla düşey eksen etrafında dönmekte olan cisimde yatay düzlemde düzgün çembersel hareket yapar. Cisme ait kuvvet diyagramı şekildeki gibidir. T ipteki gerilme kuvvetini, m • g ise cismin ağırlığını ifade eder. İpteki gerilmenin düşey bileşeni (T_Y), toplam ağırlığı (m • g) dengelerken zincirdeki gerilmenin yatay bileşeni (T_X) merkezcil kuvveti oluşturur.

$T_Y = T \cdot \cos\alpha = m \cdot g$

$T_X = T \cdot \sin\alpha = F_m$

$\sin\alpha = \frac{r}{L}$

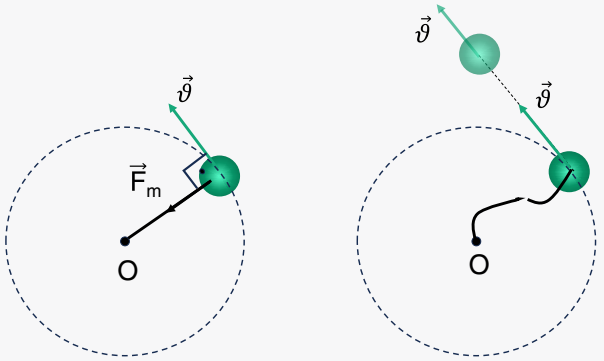


Yatay düzlemde aynı ipe bağlı, farklı kütleli cisimlerin düzgün çembersel hareketi ve cisimlerin kuvvet diyagramları

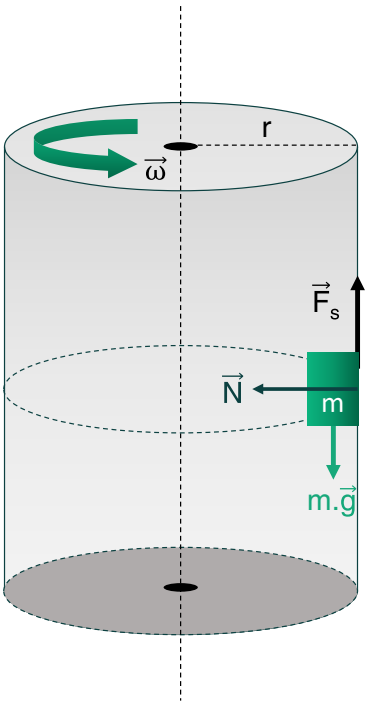
Sürtünmesiz yatay düzlemde aynı ip üzerindeki m_1 ve m_2 kütleli K ve L cisimleri sabit $\vec{\omega}$ açısal hızıyla dönerek düzgün çembersel hareket yapmaktadır. Cisimlere ait kuvvet diyagramları şekildeki gibidir.

M_2 cismi için merkezcil kuvvet F_2	M_1 cismi için merkezcil kuvvet F_1
M_2 cismin üzerindeki dönme merkezine dik net kuvvet merkezcil kuvvettir.	M_1 cismin üzerindeki dönme merkezine dik net kuvvet, merkezci kuvvettir.
$F_2 = T_2$ $F_2 = T_2 = m_2 \cdot \omega^2 \cdot r_2$ $T_2 = m_2 \cdot \omega^2 \cdot r_2$	$F_1 = T_1 - T_2 = m_1 \cdot \omega^2 \cdot r_1$ $T_1 - m_2 \cdot \omega^2 \cdot r_2 = m_1 \cdot \omega^2 \cdot r_1$ $T_1 = \omega^2 \cdot (m_1 \cdot r_1 + m_2 \cdot r_2)$

KRİTİK BİLGİ



Sürtünmesiz yatay bir düzlemde O noktasına sabitlenmiş bir ip yardımı ile düzgün çembersel hareket eden bir cisim ip koptuğunda çizgisel hız yön ve doğrultusunda hareketine devam eder.



Sabit açısal hızla dönen silindirin içinde silindirle birlikte kaymadan dönen cisme ait kuvvet diyagramı

Cisim silindirle beraber düzgün çembersel hareket yaptığına göre,

Cismin üzerinde merkeze doğru bir net kuvvet olmalı ve bu net kuvvet merkezcil kuvvettir. Bu kuvvet silindir tarafından cisme uygulanan temas yüzeyinin uyguladığı tepki kuvvetidir. Cismin düşeyde ağırlığına zıt yönde bir sürtünme kuvveti olmalı ki kaymadan dursun. (F_s = m . g olmalı) Buna göre;

$F_s = N \cdot k$ olduğundan tepki kuvvetinin büyüklüğü de

$F_m = N'$dir.

$$F_m = m \cdot \frac{\vartheta^2}{r}$$

$m \cdot \frac{\vartheta^2}{r} = N$ veya $m \cdot \omega^2 \cdot r = N$ olur.

DİKKAT

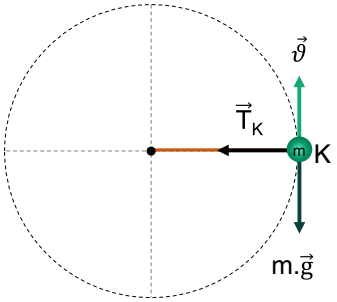
Sürtünme kuvveti her zaman maksimum değerinde olmaz (F_{smax}).

(F_{smax}) ≥ mg ise sistem burada dengede kalır.

mg > (F_{smax}) ise cisim aşağı kayar.

Düşey Düzlemde Çembersel Hareket

Cisim K noktasındayken

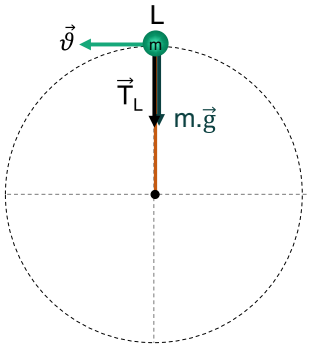


Cisim üzerindeki kuvvetler; aşağı yönlü cismin ağırlığı ve cisme ipin uyguladığı yörüngenin merkezine doğru cismi çeken $\vec{T}_K$ gerilme kuvveti vardır. Cisim, K noktasından geçerken cismi hareketin merkezine doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü

$$F_m = T_K$$

ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğüne eşittir.

Cisim L noktasındayken

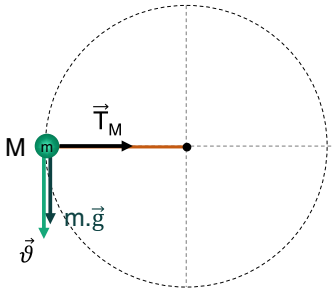


Cisim üzerindeki kuvvetler; aşağı yönlü cismin ağırlığı ve cisme ipin uyguladığı $\vec{T}_L$ gerilme kuvvetidir. Cisim, çembersel yörüngenin en üst noktasından geçerken cisme etki eden merkezcil kuvvetin büyüklüğü

$$F_m = T_L + m \cdot g$$

olur. Cisim, bu noktadan geçerken ipte oluşan gerilme kuvveti en küçük değerini alır.

Cisim M noktasındayken

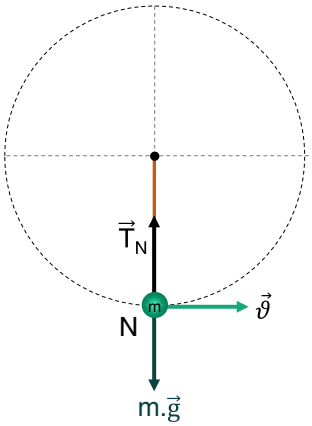


Cisim üzerindeki kuvvetler; aşağı yönlü cismin ağırlığı buna dik cisme ipin uyguladığı $\vec{T}_M$ gerilme kuvvetidir. Cisim, M noktasından geçerken cismi hareketin merkezine doğru çeken net kuvvetin büyüklüğü

$$F_m = T_M$$

ipteki gerilme kuvvetinin büyüklüğüne eşittir.

Cisim N noktasındayken

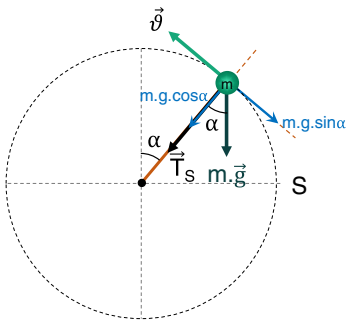


Cisim üzerindeki kuvvetler; aşağı yönlü cismin ağırlığı buna zıt yönde cisme ipin uyguladığı $\vec{T}_N$ gerilme kuvvetidir. Merkezcil kuvvet merkeze doğru kuvvetlerin bileşkesidir. Cismin düzgün çembersel hareket yapabilmesi için merkeze doğru bir merkezcil kuvvet olmalıdır. Bu durumda merkez doğrultusunda olan ip gerilme kuvveti cismin ağılığından büyük olmalıdır. Bu durumda;

$F_m = T_N - m \cdot g$ $\qquad$ $T_N = F_m + m \cdot g$

N noktasında ip gerilmesi en büyük değerini alır.

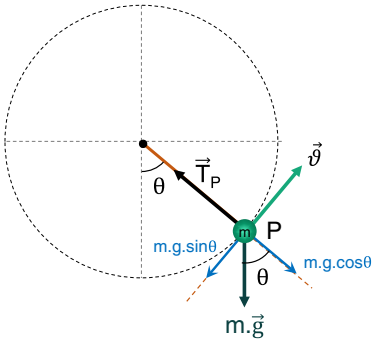
Cisim S noktasındayken



Cisim üzerindeki kuvvetler; aşağı yönlü cismin ağırlığı cisme ipin uyguladığı $\vec{T}_S$ gerilme kuvvetidir. Bu durumda merkez doğrultusunda olan ip gerilme kuvvetinin büyüklüğü ve ağırlığın ip gerilmesi doğrultusundaki bileşeni olan m • g • cosα ile birlikte bileşke kuvvet merkezcil kuvvete eşit olmalıdır.

$F_m = T_S + m \cdot g \cdot \cos\alpha$ $\qquad$ $T_S = F_m - m \cdot g \cdot \cos\alpha$

Cisim P noktasındayken



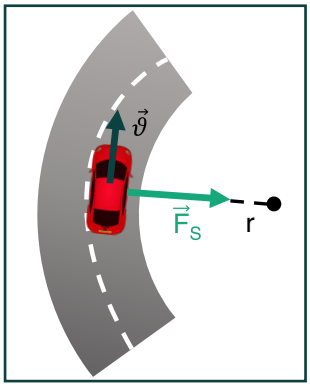
Cisim üzerindeki kuvvetler; aşağı yönlü cismin ağırlığı cisme ipin uyguladığı $\vec{T}_P$ gerilme kuvvetidir. Bu durumda merkez doğrultusunda olan ip gerilme kuvveti ve ağırlığın ip gerilmesi doğrultusundaki bileşeni olan m • g • cosθ ile birlikte bileşke kuvvet merkezcil kuvvete eşit olmalıdır.

$F_m = T_P - m \cdot g \cdot \cos\theta$ $\qquad$ $T_P = F_m + m \cdot g \cdot \cos\theta$

VİRAJLARDA EMNİYETLİ DÖNÜŞ ŞARTLARI

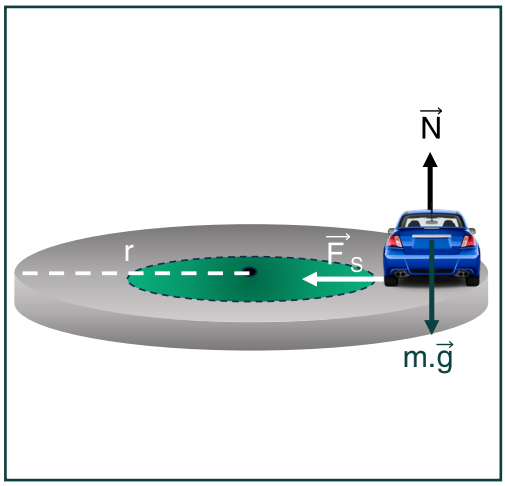
Araçların virajlardaki emniyetli dönüş şartlarını belirlerken, merkezcil kuvvet, lastiklerin yol tutuşu, araç hızı ve dönüş yarıçapı gibi faktörlerin bir arada düşünülmesi gerekir. Trafik mühendisliği prensipleri ve yol işaretlemeleri, bu güvenlik faktörlerini sürücülere hatırlatarak, kazaların önlenmesine yardımcı olur. Emniyetli dönüşler için, fizik yasalarından yola çıkarak belirlenen hız sınırlarına ve yol işaretlerine uyulması esastır.

Trafik uyarı levhaları



Yatay sürtünmeli virajlı yolda kuvvet diyagramı

Aracın virajı güvenli bir şekilde dönebilmesi için merkeze doğru bir net kuvvetinin olması gerekir. Bu kuvvet aracın tekerleri ile zemin arasında oluşan statik sürtünme kuvvetidir.



Araç virajı alabilecek maksimum hız değerine ulaşıldığında statik sürtünme kuvveti de maksimum değere ulaşır. Statik sürtünme kuvvetinin maksimum değeri (F_{smax})

$F_{smax} = N \cdot k$ bağıntısı ile bulunur.

$N = m \cdot g$ $\qquad F_{smax} = m \cdot g \cdot k$

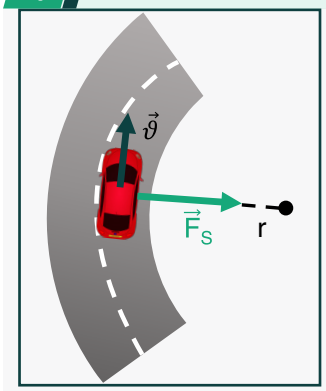
Bu değer merkezcil kuvvet bağıntısına eşitlenirse

$$F_{smax} = F_m \text{ ve } F_{smax} = \frac{m \cdot \vartheta^2}{r} \Rightarrow \cancel{m} \cdot g \cdot k = \frac{\cancel{m} \cdot \vartheta^2}{r} \Rightarrow \vartheta^2 = g \cdot r \cdot k$$

$\Rightarrow$ $\vartheta_{max} = \sqrt{g \cdot r \cdot k}$ olarak bulunur.

Maksimum güvenli hız, yolun sürtünme katsayısı, virajın yarıçapına ve kütle çekim ivmesine bağlıdır. Bu hıza eşit veya bu hızın altında seyreden araçlar, virajları emniyetli bir şekilde dönebilirler.

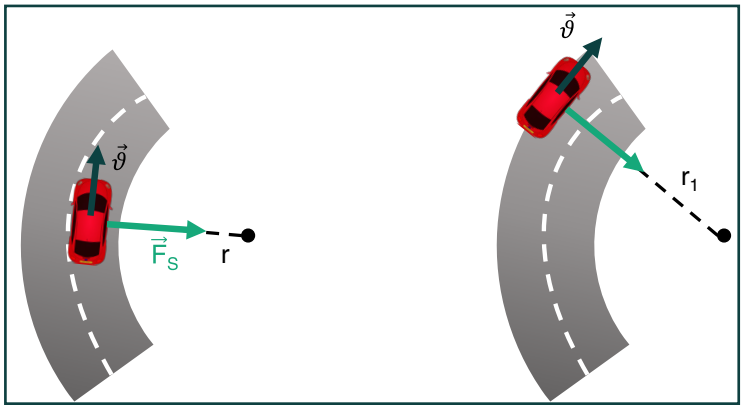
DİKKAT



Viraj dönen araca merkezkaç kuvveti diye bir kuvvet etki etmez. Aracın virajı dönmesini sağlayan merkezcil kuvvettir. Sürtünmeli yolda merkezcil kuvveti sürtünme kuvveti oluşturur.

KRİTİK BİLGİ

Araç aynı hızla daha düşük sürtünmeli yola girdiğinde kütle sabit olduğundan araç sürtünme kuvvetinin düşüşünü dönme yarıçapını artırarak dengelemeye çalışır ve daha büyük bir yarıçapta dönmeye başlar, bu da aracın yoldan dışarı çıkması demektir.



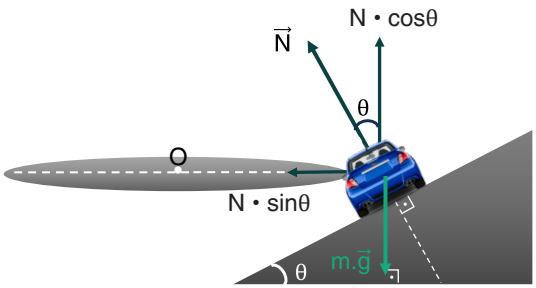
Bir araç, aynı hızı koruyarak düşük sürtünmeli bir yola girdiğinde, sürtünme kuvveti ile $F_s = \frac{m \cdot \vartheta^2}{r}$ bağıntısına göre hareket edecektir. Burada m kütle, ϑ hız ve r dönme yarıçapıdır. Hız ve kütle sabit kaldığı için; sürtünme kuvvetinin azalması, aracın dengesini korumak için dönme yarıçapını artırmak zorunda kalması anlamına gelir.

EĞİMLİ VİRAJDA GÜVENLİ DÖNÜŞ ŞARTI

Yatay eğimli bir virajı dönen yarış arabası

Sürtünmelerin önemsenmediği kadar küçük olan eğimli virajlar, araçların yüksek hızlarda dahi virajlardan güvenli bir şekilde geçiş yapmalarını sağlamak için tasarlanmıştır. "Virajlı yolu eğimlendirme" olarak da bilinen bu yöntemde, yolun viraj yapan tarafı, diğer tarafa göre daha yüksek hale getirilir. Bu eğim, aracın virajda kaymasını önlemek için kullanılır.

EĞİMLİ VİRAJDA HAREKET EDEN ARABANIN KUVVET DİYAGRAMI



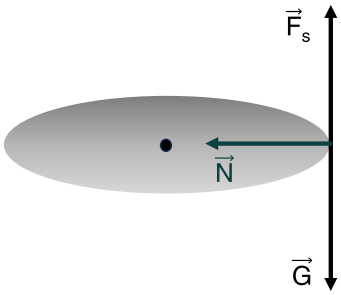
Sürtünmenin önemsenmeyecek kadar küçük olduğu eğimli virajda hareket eden bir aracın çembersel hareket yapması için dönme merkezine doğru bir net kuvvet etki etmelidir. Bu kuvvet zemin arabaya uyguladığı tepki kuvvetinin, bileşeni olan N • sinθ'dır. Bu durumda N • cos θ = m • g olmalıdır ki, merkez doğrultusunda net kuvvet N • sinθ olsun.

$\boxed{1}$ $F_M = N \cdot \sin\theta = \dfrac{m \cdot \vartheta^2}{r}$ $\boxed{2}$ $m \cdot g = N \cdot \cos\theta$

1 ve 2 nolu denklemler taraf tarafa bölünürse

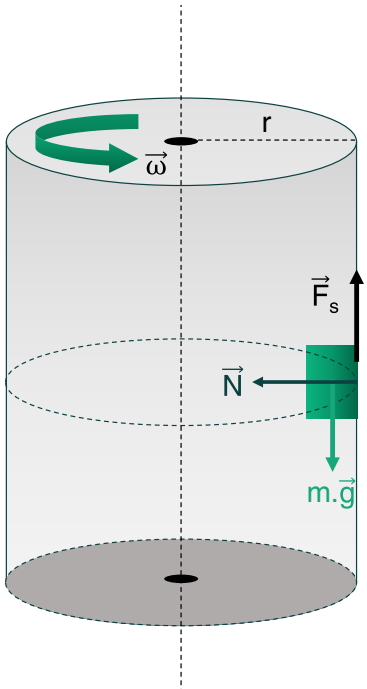
$$\frac{\cancel{N} \cdot \sin\theta}{\cancel{N} \cdot \cos\theta} = \frac{\frac{\cancel{m} \cdot \vartheta^2}{r}}{\cancel{m} \cdot g} \Rightarrow \tan\theta = \frac{\vartheta^2}{g \cdot r} \Rightarrow \vartheta^2 = \tan\theta \cdot g \cdot r$$

$\boxed{\vartheta = \sqrt{\tan\theta \cdot g \cdot r}}$ eşitliği bulunur. Bu eşitlik eğimli ve sürtünmesiz virajlarda güvenli dönebilme şartıdır.



Düşey bir duvarda motosiklet sürmek, fiziksel prensiplere dayanan etkileyici bir gösteridir. Bu hareketin gerçekleşebilmesi için, motosikletin tekerlekleriyle duvar arasındaki sürtünme çok önemli bir rol oynar. Sürtünme kuvveti, motosikletin ağırlığını düşeyde dengeler. Motosiklet hızlandıkça, dairesel hareketten kaynaklanan merkezcil kuvvet artar. Merkezcil kuvvet, motosiklete ve sürücüye duvar tarafından uygulanan tepki kuvvetidir.

SİLİNDİR İÇİNDE GÜVENLİ DÖNÜŞ ŞARTI



Cisim silindirle beraber düzgün çembersel hareket yaptığına göre,

Cismin üzerinde merkeze doğru bir net kuvvet olmalı ve bu net kuvvet merkezcil kuvvettir. Bu kuvvet silindir tarafından cisme uygulanan temas yüzeyinin uyguladığı tepki kuvvetidir. Cismin düşeyde ağırlığına zıt yönde bir sürtünme kuvveti olmalı ki kaymadan dursun. Buna göre;

$F_s = m \cdot g$ olmalı $F_s = N \cdot k$ $F_m = N$ olmalı

$N = m \cdot \dfrac{\vartheta^2}{r}$ Sürtünme kuvvetindeki N yerine F_m yazılırsa;

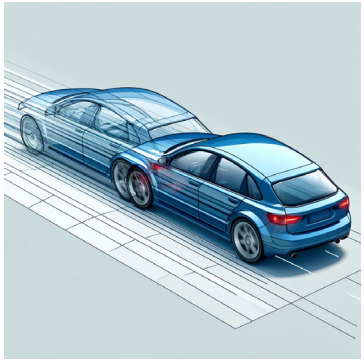
$k \cdot m \cdot \dfrac{\vartheta^2}{r} = m \cdot g$ ve $\vartheta^2 = \dfrac{g \cdot r}{k}$ $\Rightarrow$ $\boxed{\vartheta = \sqrt{\dfrac{g \cdot r}{k}}}$ bağıntısı bulunur.

Bu formül, cismin kaymadan dönebileceği maksimum hızı verir. Eğer cisim, bu hızın altında bir hızla dönerse, cisim yavaş yavaş aşağı doğru kaymaya başlayacaktır.

ÖTELEME VE DÖNME HAREKETİ

ÖTELEME HAREKETİ

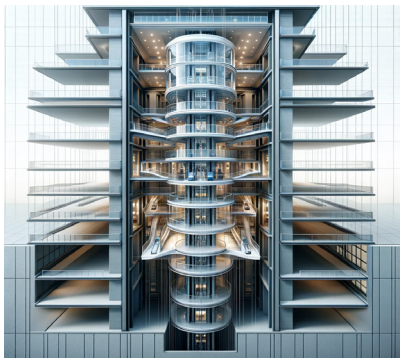
Öteleme hareketi, bir cismin kütle merkezinin belirli bir doğrultuda hareket etmesidir. Bu süreçte cismin tüm noktaları aynı yönde ve aynı miktarda yer değiştirir ve bütün noktalarının hızları eşittir. Öteleme hızının büyüklüğü $\vartheta_ö$ ile gösterilir.



Öteleme hareket yapan bir araba

Öteleme hareket yapan bir tren

Düz bir yolda yürüyen bir kişinin öteleme hareketi



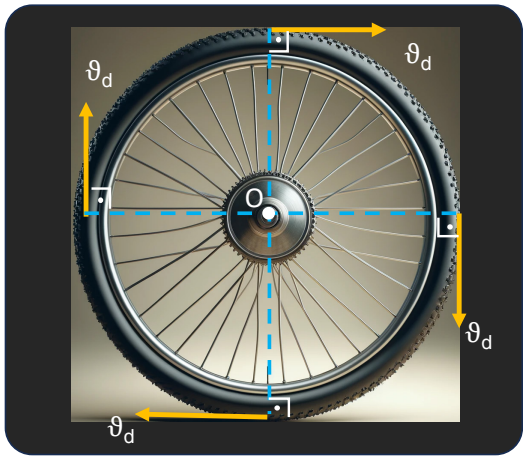
Asansörün düşey doğrultuda öteleme hareketi

DÖNME HAREKETİ

Dönme hareketi, bir cismin sabit bir eksen etrafında döndüğü harekettir. Bu harekette, cismin tüm noktaları bir eksen etrafında dairesel bir yol izler. Cisim dönme ekseni etrafında dönüş hareketi gerçekleştirirken bu hareket, cismin merkezine uzaklığına bağlı olarak farklı hızlarda gerçekleşir. Dönme hızının büyüklüğü ϑ_d ile gösterilir.

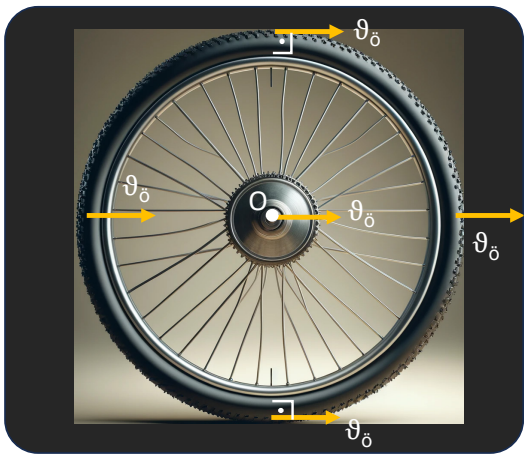
Dönme hareketi yapan bir rüzgar türbini

Dönme hareketi yapan bir topaç



O noktası etrafında dönme hareketi yapan bisiklet tekeri

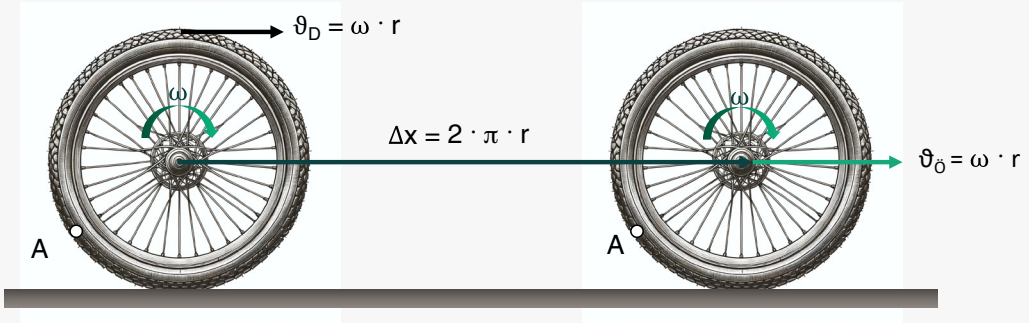
O merkezli bir nokta etrafında dönme hareketi yapan tekerin, dış noktalarının dönme hız büyüklükleri eşittir. Dönme merkezi olan O noktasının dönme hızı sıfırdır. Dönme merkezinden uzaklaştıkça dönme hızı artar.



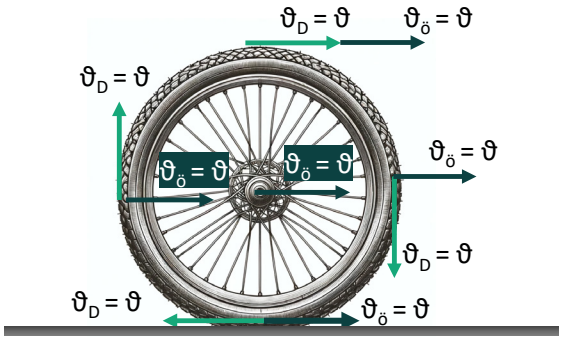
Öteleme hareketi yapan tekerin

Öteleme hareketi yapan tekerin, tüm noktalarının öteleme hız büyüklükleri eşittir.

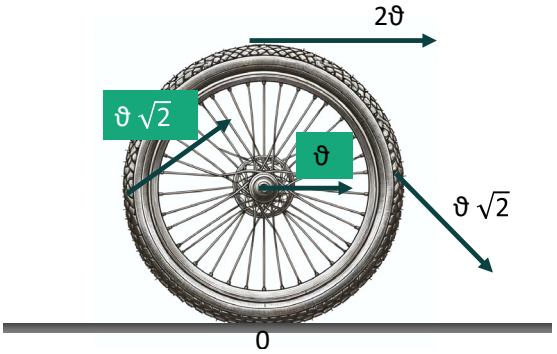
KRİTİK BİLGİ



Yatay zeminde kaymadan ω açısal hızı ile dönerek ilerleyen bir teker, bir tur attığında tekerleğin merkezi kendi çevresinin uzunluğu kadar yani $2 \cdot \pi \cdot r$ öteleme hareketi yapar. Teker üzerindeki A noktası, 1 tur sonucu çembersel yörüngede $2 \cdot \pi \cdot r$ kadar yol alır. Bu durumda tekerin en dış Kısımının dönme hızının büyüklüğü ile tekerin öteleme hızının büyüklüğü eşit olacaktır.



Kaymadan dönerek ilerleyen tekerin üzerindeki noktaların dönme ve öteleme hızlarının gösterimi



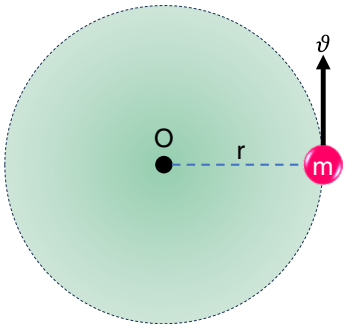
Kaymadan dönerek ilerleyen tekerin üzerindeki noktaların yere göre anlık hızları

EYLEMSİZLİK MOMENTİ VE DÖNME KİNETİK ENERJİSİ

EYLEMSİZLİK MOMENTİ

Eylemsizlik, bir cismin dururken harekete geçirmeye veya hareket halindeyken yönünü ya da hızını değiştirmeye karşı gösterdiği dirençtir. Başka bir deyişle, eylemsizlik, cisimlerin mevcut hareket durumlarını koruma eğilimidir. Eylemsizlik cismin kütlesi ile doğru orantılıdır. Büyük kütleleri durdurmak ve hareket ettirmek bu yüzden daha zordur.

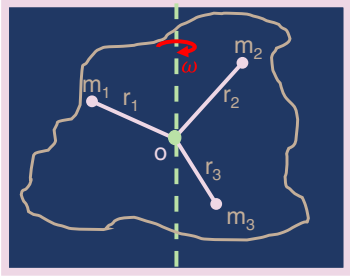
Eylemsizlik momenti bir cismin bir eksen etrafında dönme hareketine karşı gösterdiği dirençtir. Eylemsizlik momenti büyük olan cisimleri döndürmek, dönüyorsa durdurmak da zordur. Eylemsizlik momenti skaler bir büyüklüktür ve I harfiyle gösterilir. Uluslararası Birimler Sistemi'nde (SI), birim olarak kilogram metre kare ($kg \cdot m^2$) kullanılır.



m kütleli noktasal cismin, r uzaklıktaki bir eksen etrafında dönerken, eylemsizlik momenti;

$$I = m \cdot r^2$$

Eylemsizlik momenti bir cismi oluşturan parçacıkların kütlesine ve bu parçacıkların dönme eksenine olan uzaklıklarının karesiyle doğru orantılıdır. Ayrıca, cismin geometrik şekli de eylemsizlik momentini etkileyen önemli bir faktördür, çünkü farklı şekillerdeki cisimler, kütlenin dönme ekseni etrafında dağılımını değiştirecektir.



Eğer bir cisim çok sayıda parçacıktan oluşmuşsa ve sürekli bir kütleye sahipse, eylemsizlik momentini hesaplamak için tüm bu parçacıkların $m \cdot r^2$ değerleri toplanarak

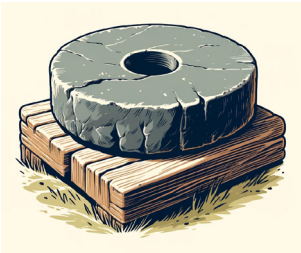
$$\sum m \cdot r^2$$

bağıntısı elde edilir.

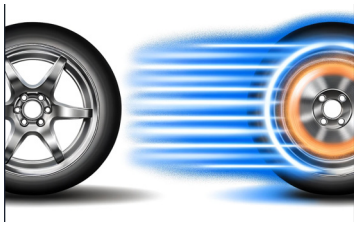
EYLEMSİZLİK MOMENTİNİN GÜNLÜK HAYATTAKİ KULLANIMI

Eylemsizlik momenti mühendislikte çok çeşitli uygulamalarda önemli bir rol oynar. Özellikle yapısal mühendislikte, binaların ve diğer yapıların tasarımında ve analizinde, dayanıklılık ve stabiliteyi değerlendirmek için eylemsizlik momenti hesaplamaları kritik öneme sahiptir.

Diskus veya çekiç atarken, atletler nesneyi dönme ekseninden uzak tutarak, üzerinde çalıştırılabilecek kaldıraç etkisini artırırlar. Bu, atletin nesneye daha fazla tork uygulamasına ve böylece daha yüksek bir başlangıç hızına ulaşmasına olanak tanır. Bu da genellikle nesnenin daha uzun mesafelere uçmasını sağlar.



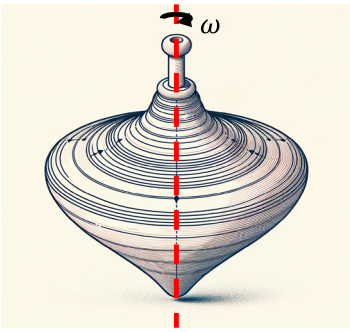
Eski zamanlarda tahıl öğütmek için kullanılan büyük taş değirmenler, büyük kütlesi nedeniyle yüksek bir eylemsizlik momentine sahip olur. Bir kez harekete geçirildikten sonra, bu yüksek eylemsizlik momenti nedeniyle değirmen uzun süre dönmeye devam eder.

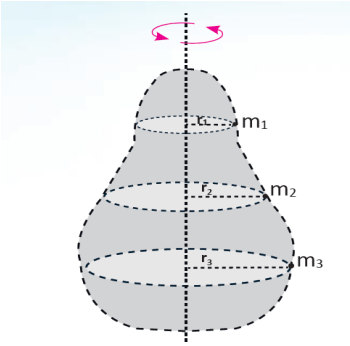


Araçların tekerleklerinin eylemsizlik momenti, ivmelenme ve yavaşlamada önemli bir rol oynar. Tekerleklerin eylemsizlik momenti, tekerleğin kütlesi ve bu kütlenin tekerleğin merkezine olan uzaklığına bağlıdır. Eylemsizlik momenti ne kadar küçükse, aracın ivmelenme (hızlanma veya yavaşlama) tepkisi o kadar iyi olur.

Bir topacın dönmesi, eylemsizlik prensibinin güzel bir görsel temsilidir. Topacın hareket etmeye başladıktan sonra dönme eğilimini koruması, üzerine etki eden dış kuvvetlerden (örneğin, sürtünme veya hava direnci) bağımsız olarak hareketini sürdürmesi eylemsizliğin bir sonucudur. Yüksek bir eylemsizlik momentine sahip olan topaç, bu momenti dolayısıyla dönme enerjisini uzun süre koruyabilir, böylece sürtünme ve hava direnci gibi dış etkileri yavaş yavaş etkisiz hale getirene kadar dönmeye devam eder.

Eylemsizlik momenti kavramı, mühendislikten sanata, sporlardan günlük araç kullanımına kadar birçok alanda etkisini gösterir. Bu örnekler, kütlenin dağılımının ve dönme ekseni etrafındaki mesafenin, bir cismi döndürme veya durdurma üzerinde ne kadar büyük bir etkisi olduğunu gösterir.





Dönme kinetik enerjisi, bir cismin dönme hareketi nedeniyle sahip olduğu enerjidir. Bir katı cismin, belirli bir eksen etrafında dönmesi durumunda, cismin her bir noktasındaki hız farklı olacaktır. Eğer katı cisim noktasal kütlelerden oluşuyorsa, her bir noktasal kütle kendi hızına göre bir kinetik enerjiye sahip olur.

$$E_K = \frac{m \cdot \vartheta^2}{2}$$

Kinetik enerji bağıntısına göre eğer katı cisim n tane noktasal kütleden meydana geliyorsa ve belirli bir eksen etrafında dönüyorsa, toplam dönme kinetik enerjisi tüm noktasal kütlelerin kinetik enerjileri toplamına eşit olur.

$$E_D = \frac{m_1 \cdot \vartheta_1^2}{2} + \frac{m_2 \cdot \vartheta_2^2}{2} + \ldots + \frac{m_n \cdot \vartheta_n^2}{2}$$

$\vartheta = \omega \cdot r$ bağıntısı kullanılırsa;

$$E_D = \frac{m_1 \cdot (\omega \cdot r_1)^2}{2} + \frac{m_2 \cdot (\omega \cdot r_2)^2}{2} + \ldots + \frac{m_n \cdot (\omega \cdot r_n)^2}{2}$$

$$E_D = \frac{1}{2}\omega^2 \cdot \underbrace{(m_1 \cdot r_1^2 + m_2 \cdot r_2^2 + m_3 \cdot r_3^2 + \ldots + m_n \cdot r_n^2)}_{I \quad \text{(eylemsizlik momenti)}}$$

$E_D = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$ Dönme kinetik enerji bağıntısı

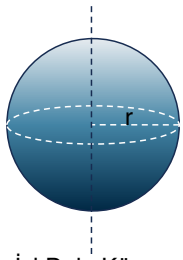
KRİTİK BİLGİ

Dönme hareketinde, bir cismin eylemsizlik momenti, öteleme hareketindeki kütlenin yerini alır. Kütle, doğrusal harekete direnç gösterirken, eylemsizlik momenti de dönme hareketine direnç gösterir.

KRİTİK BİLGİ

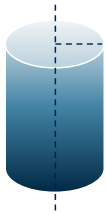
Eylemsizlik momenti, cismin geometrik şekline ve kütle merkezinin dönme eksenine olan dik uzaklığına bağlıdır. Kütlenin eksen etrafında ne kadar merkezi bir dağılıma sahip olursa, eylemsizlik momenti o kadar az olur; kütlenin dağılımı ne kadar genişlerse, eylemsizlik momenti o kadar artar.

BAZI GEOMETRİK CİSİMLERİN EYLEMSİZLİK MOMENTLERİ



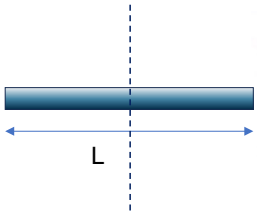
İçi Dolu Küre

$I = \frac{2}{5} m \cdot r^2$

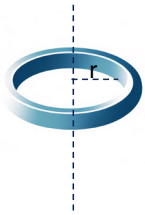


İçi Dolu Silindir

$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2$

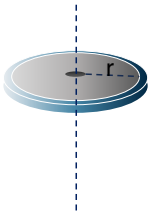


$I = \frac{1}{12} m \cdot L^2$



Halka

$I = m \cdot r^2$



Disk

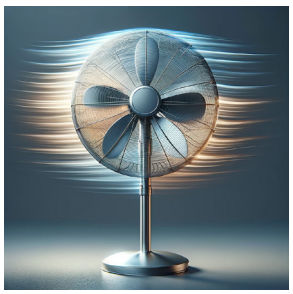
$I = \frac{1}{2} m \cdot r^2$

DÖNME VE DÖNEREK ÖTELEME HAREKETİ YAPAN CİSİMLERİN KİNETİK ENERJİSİ

Bir cismin bir eksen etrafında dönmesi sonucu ortaya çıkan kinetik enerjiye **"dönme kinetik enerjisi"** denir. Bu enerji, cismin dönme hızına ve kütlesinin eksen etrafında nasıl dağıldığına bağlıdır. Dönme kinetik enerjisi

$$E_{KD} = \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$$

şeklinde ifade edilir.



Dönme hareketi yapan vantilatör pervaneleri

Kendi etrafında dönme hareketi yapan Dünya

Kendi etrafında dönen dönme dolap

Öteleme hareketi yapan cisimlerin kinetik enerjisi, cismin hareketi boyunca sahip olduğu enerjidir. Bu enerji, cismin kütlesi (m) ve hızının (v) karesinin çarpımına bağlı olarak hesaplanır. Öteleme kinetik enerjisinin formülü şu şekildedir:

$$E_{KÖ} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vartheta^2$$

Kaykayla sabit hızla ötelenme yapan çocuk

Yürüyen merdivende sabit hızla ilerleyen insan

Sabit hızla yürüyen insan

Dönerek ilerleyen cisimlerin hem öteleme hem de dönme kinetik enerjisi bulunur. Öteleme kinetik enerjisi, cismin doğrusal hareketinden kaynaklanan enerjiyi temsil ederken, dönme kinetik enerjisi cismin dönme hareketinden kaynaklanan enerjiyi ifade eder. Bir cisim dönerek öteleme hareketi yapıyorsa kinetik enerjisi hem öteleme hem de dönme hareketinden kaynaklanan toplam kinetik enerjisi hesaplanır.

Kaymadan dönerek ilerleyen bir tekerlek hem öteleme hem de dönme kinetik enerjisine sahiptir. Öteleme kinetik enerjisi, tekerleğin merkezi ekseni etrafında ilerlemesinden kaynaklanırken, dönme kinetik enerjisi ise tekerleğin kendi ekseni etrafındaki dönüşünden kaynaklanır.

Dönerek ötelenen tekerleğin toplam kinetik enerjisi; $E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2$ olur.

AÇISAL MOMENTUM

Açısal momentum, dönen cisimlerin temel bir fiziksel özelliğidir ve hem makro hem de mikro ölçekte önemli uygulamalara sahiptir. Makroskopik olarak, CD'ler, bisiklet tekerlekleri, topaçlar, buz pateni yapan sporcular ve yörüngede dönen gezegenler gibi sistemlerde gözlemlenebilir. Bu sistemlerde açısal momentum, nesnelerin dönme hızını ve stabilitesini belirler. Mikroskobik düzeyde ise, atomlar, moleküller ve atom çekirdekleri açısal momentum sayesinde belirli yörüngelerde dönme eğilimindedir. Bu, kuantum mekaniği, moleküler yapı analizi ve çekirdek fiziği gibi alanlarda açısal momentumun kritik bir rol oynadığını gösterir.

Bir bilgisayar CD'si, dönme hareketi yaptığında açısal momentum kazanır. CD'nin dönüş hızı ve kütlesi, bu açısal momentumun büyüklüğünü etkiler.

Bir bisiklet tekerleği döndüğünde, kazandığı açısal momentum tekerleğin sabit bir şekilde dönmesini sağlar, bu da bisikletin daha stabil bir şekilde ilerlemesine yardımcı olur.

Gezegenler, Güneş etrafındaki yörüngelerde dönerken, bu yörüngelerdeki hareketleri sırasında açısal momentum kazanırlar. Bu momentum, gezegenlerin yörüngelerinin sabit kalmasını sağlar.

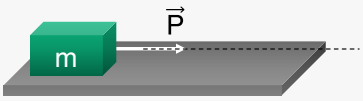
HATIRLAYALIM

Çizgisel Momentum

Bir cismin çizgisel momentumu, kütlesi ile hızının vektörel çarpımı olarak tanımlanır:

$\vec{P} = m \cdot \vec{\vartheta}$

Burada m cismin kütlesi, $\vec{\vartheta}$ ise hız vektörüdür. Çizgisel momentum, bir vektörel büyüklüktür ve yönü hız vektörüyle aynıdır. Çizgisel momentum cismin şekline bağlı değildir.



Açısal momentum ise bir nokta etrafında dönen cisimler için kullanılan bir momentum türüdür.

Açısal momentum, $\vec{L}$ sembolü ile gösterilir ve vektörel bir büyüklüktür, yönü $\vec{P}$ ve $\vec{r}$, vektörlerinin bulunduğu düzleme dik olur. Bu yön, sağ el kuralı kullanılarak belirlenir. Açısal momentumun SI'da birimi $kg \cdot m^2/s = N \cdot m \cdot s = J \cdot s$'dir. Açısal momentumun büyüklüğü ,cismin çizgisel momentumu $\vec{P}$ ile $\vec{r}$ vektörü arasındaki bağıntıya dayanır. Bu ilişki şu şekilde ifade edilebilir:

$$\vec{L} = \vec{r} \times \vec{P}$$

Burada $\vec{r}$ konum vektörüdür ve çizgisel momentum $\vec{P}$ ile vektörel çarpım yapılır.

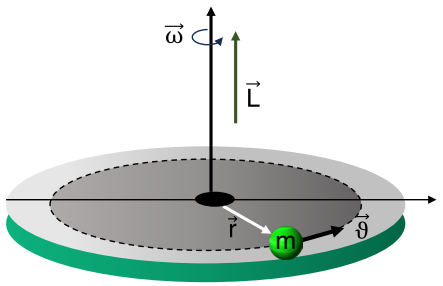
$L = P \cdot r$ bağıntısında $P = m \cdot \vartheta$ yazılırsa

Açısal momentumun büyüklüğü

$L = m \cdot \vartheta \cdot r$ olarak bulunur.

Açısal momentumun büyüklüğünün I ve $\vec{\omega}$ cinsinden bağıntısı

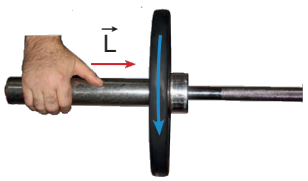
$\vec{L} = I \cdot \vec{\omega}$ olur. Bağıntıya göre açısal momentum ve açısal hızın yönleri aynıdır.



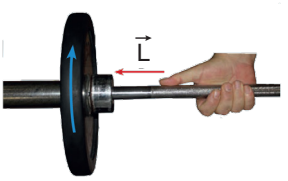
Açısal hız, açısal momentum ve çizgisel hızın vektörel gösterimi

AÇISAL MOMENTUMUN YÖNÜ

Dönme veya dairesel hareket yapan bir cismin açısal momentumunun yönünü belirlemek için sağ el kuralı uygulanır.



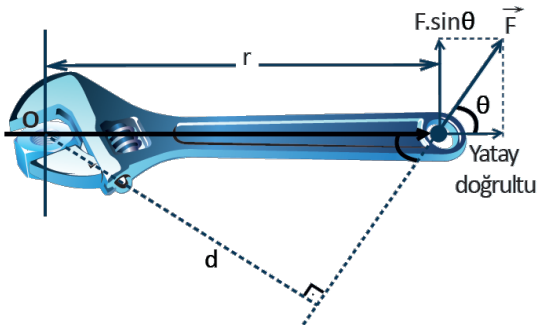
Diskte sağ el kuralı



Diskte sağ el kuralı

Sağ el açılır ve dört parmak cismin dönme yönünde kıvrılır, baş parmak dört parmağa dik olacak şekilde açılır. Baş parmağın yönü açısal momentumun yönünü gösterecektir.

AÇISAL MOMENTUM TORK İLİŞKİSİ



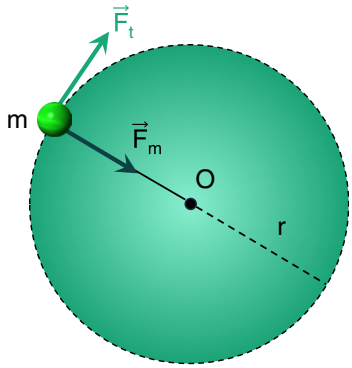
Tork, kuvvetin dönme etkisi yaratan bir ölçüsüdür. Temel olarak, bir kuvvetin bir eksen etrafında bir cismi nasıl döndürebileceğinin bir göstergesidir. Vektörel bir büyüklük olan tork $\vec{\tau}$ (tau) ile gösterilir ve yönü sağ el kuralı ile bulunur. SI'da birimi N • m'dir.

$\vec{\tau} = \vec{d} \times \vec{F}$

$\tau = F \cdot r \cdot \sin\theta$

- F uygulanan kuvvetin büyüklüğü,
- θ kuvvet vektörünün yatay eksenle yaptığı açı,
- d kuvvetin dönme noktasına olan dik uzaklığıdır.

AÇISAL VE TEĞETSEL İVME



m kütleli cisme çembersel yörüngede teğetsel bir kuvvet ($\vec{F}_t$) etki ederse, bu kuvvet etkisiyle cisim ivme kazanır. Kazanılan bu ivmeye teğetsel ivme (a_t) denir. Açısal ivme (α) ise birim zamanda açısal hızdaki değişimdir.

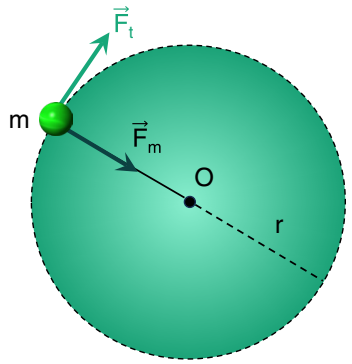
Merkezcil kuvvet ($\vec{F}_m$) cisme merkez yönünde ivme kazandırırken teğetsel kuvvet çizgisel hız yönünde ivme kazandırır.

Δt süre sonra m kütleli cismin çizgisel hızı $\Delta\vartheta$ kadar değişir, açısal hızı da $\Delta\omega$ kadar değişir.

$\Delta\vartheta = \Delta\omega \cdot r$ bağıntısında denklemin iki tarafı Δt'ye bölünürse

$$\underbrace{\frac{\Delta\vartheta}{\Delta t}}_{a_t} = \underbrace{\frac{\Delta\omega}{\Delta t}}_{\alpha} \cdot r \quad \Rightarrow \quad a_t = \alpha \cdot r$$

AÇISAL İVME TORK İLİŞKİSİ



Teğetsel kuvvet çemberin merkezindeki O noktasına göre tork etkisi oluşturur. Oluşan torkun büyüklüğü

$\tau = F_t \cdot r$ bağıntısı ile bulunur.

$\tau = F_t \cdot r$ bağıntısında $F_t = m \cdot a_t$ dir

$\tau = m \cdot a_t \cdot r$ bağıntısında $a_t = \alpha \cdot r$ denklemde yerine yazılırsa

$\tau = m \cdot \alpha \cdot r^2$ bu bağıntıda bulunan $m \cdot r^2$ parçacığın eylemsizlik momentidir.

$I = m \cdot r^2$ olarak yazılırsa

$\tau = I \cdot \alpha$ bağıntısı elde edilir.

AÇISAL MOMENTUMUN KORUNUMU

Bir cisim bir eksen etrafında dönüyorsa ve üzerine hiçbir net dış tork uygulanmıyorsa, cismin açısal momentumu sabit kalır. Buna açısal momentumun korunumu denir. Eğer bir sisteme net bir dış tork uygulanırsa, bu torkun büyüklüğü sistemin açısal momentumundaki zamanla değişimin oranına eşit olacaktır.

$$\vec{\tau} = \frac{\Delta\vec{L}}{\Delta t} = \frac{\vec{L}_{son} - \vec{L}_{ilk}}{\Delta t}$$

Sisteme etki eden net tork sıfır ise açısal momentum değişimi sıfır olur.

$\Delta\vec{L} = 0$

$0 = \vec{L}_{son} - \vec{L}_{ilk}$

$\vec{L}_{son} = \vec{L}_{ilk}$ olur.

$L = m \cdot \vartheta \cdot r$ bağıntısında $\vartheta = \omega \cdot r$ yazılırsa

$L = m \cdot \omega \cdot r \cdot r$

$L = m \cdot \omega \cdot r^2$ bağıntısındaki " $m \cdot r^2$ " parçacığın eylemsizlik momentidir.

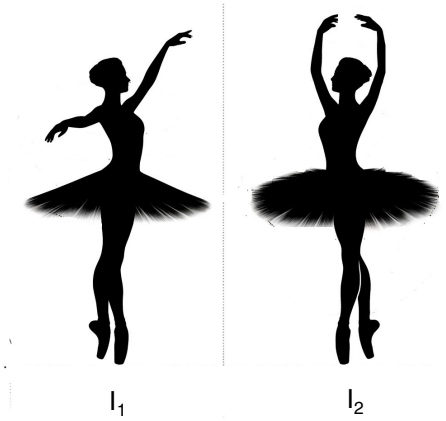
$L = I \cdot \omega$ bağıntısı elde edilir.

GÜNLÜK HAYATTA AÇISAL MOMENTUMUN KORUNUMU

Yüzücüler, havada takla atarken açısal momentumları korunur. Dizlerini vücutlarına çekerler çünkü bu hareket eylemsizlik momentlerini azaltır. Açısal momentum korunduğu için, eylemsizlik momenti azaldığında, dönüş hızı (açısal hız) artar. Bu prensip, yüzücülerin havada daha hızlı ve kontrollü dönüşler yapabilmelerini sağlar. Bu, dönüş sırasında daha fazla takla atabilmeleri ve daha estetik bir dalış gerçekleştirebilmeleri anlamına gelir.

$\leftrightarrow \downarrow \uparrow$

$L = I \cdot \omega$



Açısal momentumun korunumu ilkesi, fizikte birçok farklı durumda gözlemlenebilir ve sporcunun buz pateni performansı buna iyi bir örnektir. Sporcu, kollarını açık tuttuğunda, eylemsizlik momenti büyük olduğu için açısal hızı daha düşüktür. Ancak kollarını kapattığında, eylemsizlik momenti azalır ve açısal hızı artar, bu da sporcunun dönüşlerini daha hızlı yapmasını sağlar.

$L_1 = L_2$

$I_1 \cdot \omega_1 = I_2 \cdot \omega_2$

$I_1 > I_2$ olduğundan $\omega_2 > \omega_1$ olur.

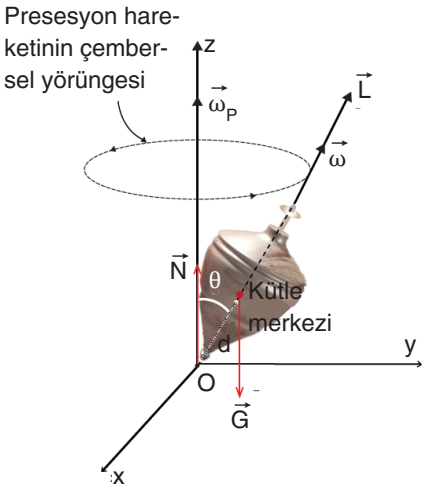
Dünya, Güneş'in etrafında dönerken açısal momentumun korunumu prensibi geçerlidir.

İlk olarak, Dünya'nın eylemsizlik momenti, (I) Güneş'e daha yakın olduğunda azalır. Eylemsizlik momenti (I) cismin kütlesi (m) ve dönme yarıçapı (r) ile ilişkilidir ve $I = m \cdot r^2$ şeklinde ifade edilir.

Dünya Güneş'e daha yaklaştığında, r değeri azalır, bu da (I) değerinin azalmasına neden olur. Bu durumda, Dünya'nın açısal momentumu (L) sabit kalmalıdır. Açısal momentum, $L = I \cdot \omega$ formülü ile ifade edilir, burada ω açısal hızdır. Dolayısıyla, eylemsizlik momenti azaldığında ve açısal momentum sabit kaldığında, açısal hız ω artar. Bu da Dünya'nın Güneş çevresinde dönme hızının arttığını gösterir.

Sonuç olarak, Dünya Güneş'e daha yaklaştığında, yörüngesel hızı artar ve Güneş'ten uzaklaştığında yörüngesel hızı azalır.

Açısal momentumun korunumu, döner sandalye üzerinde yapılan bir deney ile açıklanabilir. Bir kişi, döner sandalyeye oturur. Sandalye döndürülünce ellerinde ağırlıklarla kollarını açar. Bu durum, sandalyenin dönme eylemsizlik momentini artırır, yani sandalye daha yavaş döner. Kişi, dönme sırasında kollarını ve ağırlıkları gövdesine çektiğinde, dönme eylemsizlik momenti azalır, bu da sandalyenin daha hızlı dönmesine neden olur.

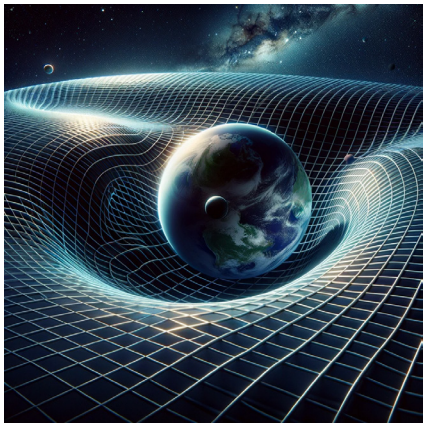


Presesyon, bir topacın kendi ekseni etrafında dönmesi sırasında, ayrıca dönme eksenine dik bir eksende yavaşça dönmesi olayıdır. Bu hareket, topacın ağırlık kuvveti nedeniyle oluşan bir tork tarafından tetiklenir. Ağırlık kuvveti, topacı yatırmaya çalışan bir tork oluştururken, topacın yüzeyi ile temas noktasında oluşan tepki kuvvetinin torku sıfırdır. Topaç döndükçe bir açısal momentum oluşturur ve bu, dönüş yönüyle paralel bir vektördür. Ağırlık kuvvetinden kaynaklanan tork, topacın açısal momentum vektörünün yönünü değiştirir, fakat büyüklüğünü değiştirmez. Bu yön değişikliği, topacın presesyon adı verilen yavaş dönüş hareketine yol açar. Hareket halindeyken topaç dik dururken, hareketsizken yana yatar çünkü dönüş tarafından sağlanan stabilizasyon kaybolur.

KÜTLE ÇEKİM KUVVETİ

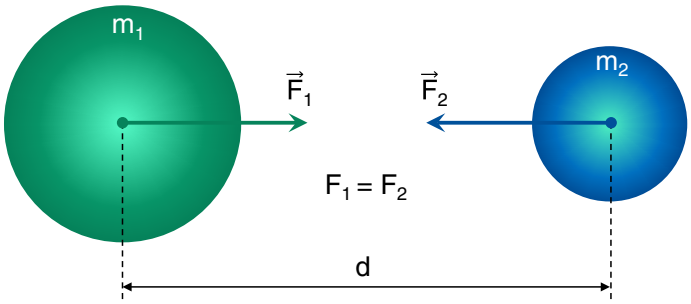
Yer çekimi kuvveti, evrenimizdeki düzenin sürdürülmesinde kritik bir role sahiptir. Bu kuvvetin yokluğu, atmosferin ve suyun kaybı gibi yaşamı tehdit eden değişikliklere yol açar. Biyolojik yapılar çöker, gezegen ve yıldızların yörüngeleri bozulur, gece-gündüz döngüsü dahil doğal süreçler altüst olur. Yerçekimi olmaksızın evrende yaşamın mevcut formda devamı mümkün olmazdı. Bu nedenle yerçekimi, hayatımızın temel bir parçasıdır ve onun varlığı evrenin düzenli işleyişini sağlar.

KÜTLE ÇEKİM KUVVETİ NELERE BAĞLIDIR?



Newton'un kütle çekimi yasası, herhangi iki cismin kütlelerinin çarpımı ile doğru orantılı, kütleler arasındaki mesafenin karesi ile ters orantılı olarak ifade edilir. Bu yasa, Ay'ın Dünya çevresindeki yörüngesini de açıklamak için kullanılmıştır. Ay, Dünya'nın kütle çekimi etkisi altında kalarak Dünya etrafında dairesel bir yörünge boyunca döner.

Newton'un bu keşfi, gök cisimlerinin hareketlerini ve evrenin genel yapısını anlamamıza önemli bir katkı sağlamıştır. Ayrıca, fiziksel olayların matematiksel olarak modellemesini ve tahmin edilmesini sağlayan bir çerçeve sunmuştur. Bu, modern fizik biliminin temelini oluşturmuş ve uzay keşifleri ve astronomi çalışmaları gibi birçok alana ilham vermiştir.



Kütlelerin birbirine uyguladıkları kuvvetlerin gösterimi

Kütle çekim kuvvetinin büyüklüğü matematiksel olarak;

$$F_1 = F_2 = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{d^2}$$

formülü ile ifade edilir.

Burada:

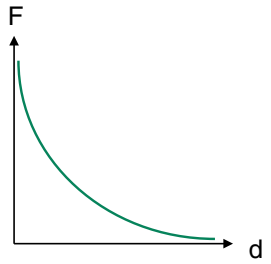
F = Kütle çekim kuvveti

G = Evrensel çekim sabiti (yaklaşık olarak $6.67 \cdot 10^{-11}$ $N \cdot m^2/kg^2$)

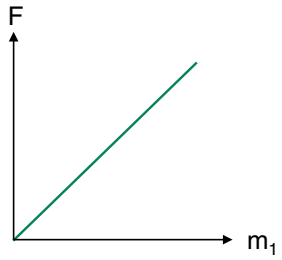
m_1 ve m_2 = İki cismin kütleleri

d = Cisimlerin kütle merkezleri arasındaki mesafe

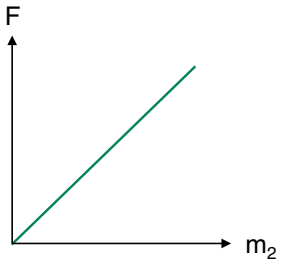
Kütle çekim kuvveti Newton'un evrensel çekim yasasına göre $\frac{1}{d^2}$ şeklinde azalan bir kuvvettir. Bu nedenle "Ters Kare Kanunu" olarak da bilinir. Kütle çekim sabiti olan G, gerçekten de oldukça küçük bir değerdir, bu da kütle çekim kuvvetinin astronomik ölçeklerde; özellikle gezegenler, yıldızlar ve galaksiler gibi büyük kütleye sahip cisimler söz konusu olduğunda etkisinin gözlenebileceği anlamına gelir. Kütle çekim kuvveti, evrende etkili olan dört temel kuvvet arasında en zayıf olanıdır. Elektromanyetik kuvvet, zayıf nükleer kuvvet ve güçlü nükleer kuvvet, kütle çekim kuvvetinden çok daha güçlüdürler. Ancak, kütle çekim kuvveti, diğer kuvvetlerden farklı olarak sonsuz bir menzile sahiptir.



Kütle çekim kuvvetinin kütleler arası uzaklığa bağlı değişim grafiği

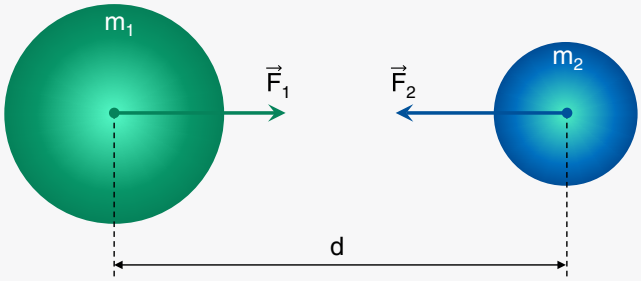


Kütle çekim kuvvetinin (m_1) kütlesine bağlı değişim grafiği



Kütle çekim kuvvetinin (m_2) kütlesine bağlı değişim grafiği

KRİTİK BİLGİ



Kütlelerin birbirlerine uyguladıkları kuvvetlerin büyüklükleri eşittir ve bu kuvvetler etki-tepki kuvvet çiftidir.

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

$$F_1 = F_2$$

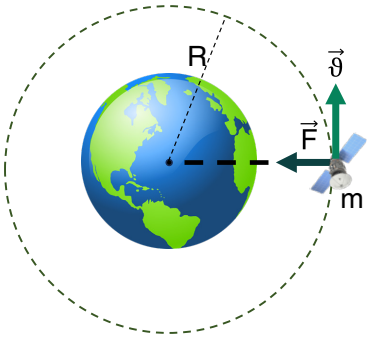
Yapay Uydular, Ay ve Gezegenlerin Hareketi

Dünya yörüngesindeki bir uydu

Yapay uyduların geliştirilmesi ve kullanılması, uzay araştırmalarında bir devrim yaratmıştır. Bu uydular sayesinde, Dünya'nın atmosferi tarafından engellenen ya da bozulan verilerin alınması sorununu aşmak mümkün olmuştur. Atmosfer dışında konumlandırılan bu uydular, çok daha net ve kesintisiz veri akışı sağlar. Yapay uydular, hava durumu tahminlerinden, telekomünikasyon hizmetlerine, yer ölçümlemelerinden bilimsel araştırmalara kadar geniş bir yelpazede kullanılır. Özellikle astronomi ve uzay bilimlerinde, atmosfer dışı gözlem yapabilme imkanı, evrenin daha detaylı anlaşılmasını sağlamaktadır.

Yapay uydular ayrıca jeolojik ve çevresel izleme, askeri keşif, ve GPS gibi navigasyon sistemleri gibi kritik alanlarda da önemli roller oynar. Bu uydular, yer istasyonları ile sürekli veri alışverişi yaparak, bilgi toplama ve analiz işlemlerinde temel bir araç haline gelmiştir. Yani, yapay uydular sadece bilim insanları için değil, günlük yaşamda kullandığımız birçok teknolojinin de temelini oluşturmaktadır.

Uydunun Dolanma Süratinin Bulunması



Uydunun çembersel yörüngede ilerlemesi için gerekli olan kuvvet Dünya'nın çekim kuvveti tarafından sağlanır. Ancak bu kuvvet, uydunun hız büyüklüğünü veya yörüngesini değiştirmez. Bu yüzden, uydunun üzerinde net bir iş yapılmamış olur. Uydunun yörüngedeki hız büyüklüğü;

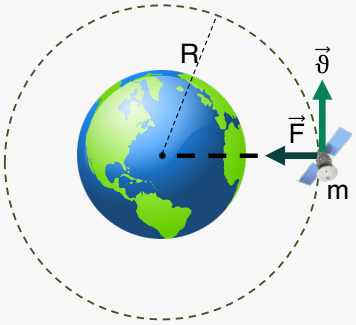
$$F = G\cdot\frac{M\cdot m}{R^2} \Rightarrow \cancel{m}\cdot\frac{\vartheta^2}{\cancel{R}} = G\cdot\frac{M\cdot\cancel{m}}{R^{\cancel{2}}} \Rightarrow \vartheta^2 = G\cdot\frac{M}{R} \Rightarrow \vartheta = \sqrt{G\cdot\frac{M}{R}}$$

şeklinde ifade edilir.

KRİTİK BİLGİ

Uydunun dünya etrafında dolanma hızı uydunun kütlesine bağlı değildir. Dolandığı gezenin kütlesinin karekökü ile doğru orantılı, yörünge yarı çapının kareköküyle ters orantılıdır.

KRİTİK BİLGİ



Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin hız büyüklüğü

$\boxed{1}$ $\vartheta = \frac{2\cdot\pi\cdot R}{T}$ $\boxed{2}$ $\vartheta = \sqrt{G\cdot\frac{M}{R}}$

1. ve 2. denklemler birbirine eşitlenirse;

$$\frac{2\cdot\pi\cdot R}{T} = \sqrt{G\cdot\frac{M}{R}} \Rightarrow \frac{4\cdot\pi^2\cdot R^2}{T^2} = G\cdot\frac{M}{R} \Rightarrow \frac{4\cdot\pi^2}{G\cdot M} = \frac{T^2}{R^3}$$

$\frac{4\cdot\pi^2}{G\cdot M} = \frac{T^2}{R^3}$ bağıntısına göre aynı gezegen etrafında dolanan uydular için $\frac{T^2}{R^3}$ oranı sabittir.

KÜTLE ÇEKİM İVMESİNİN BAĞLI OLDUĞU DEĞİŞKENLER

Dünya yüzeyinde m kütleli cisme dünyanın uyguladığı kütle çekim kuvveti cisme ivme kazandırır. Buradan hareketle

$F_{net} = m \cdot a$

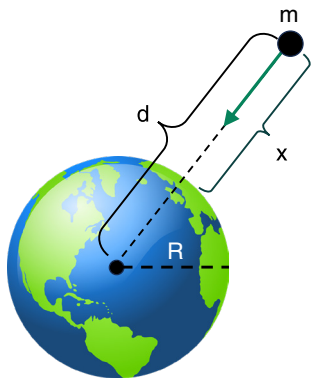
$\cancel{m}\cdot a = G\cdot\frac{M\cdot\cancel{m}}{R^2}$

$a = G\cdot\frac{M}{R^2}$

Burada G evrensel çekim sabiti, M Dünya'nın kütlesi ve R cismin Dünya'nın merkezinden olan uzaklığıdır. Bağıntıya göre cismin ivmesi cismim kütlesinden bağımsızdır. Dünya'nın kütlesine ve cismin Dünya merkezine olan uzaklığına ve evrensel çekim sabitine bağlıdır. Bu ivme Dünya'nın yüzeyinde yaklaşık olarak 9,81 m/s^2 değerindedir ve yerçekimi ivmesi (g) olarak tanımlanır. Tüm gezegenler için gezegenin merkezinden R kadar uzaklıkta çekim ivmesi (g) şöyle ifade edilir.

$$g = G\cdot\frac{M}{R^2}$$

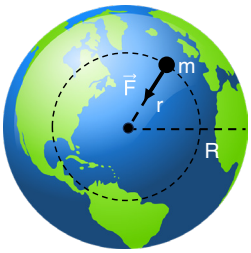
Yer çekimi ivmesi vektörel bir büyüklüktür ve yönü hep Dünya'nın merkezine doğrudur.



Gezegenin yüzeyinden x kadar uzaklıkta bulunan m kütleli cisme etki eden yerçekimi ivmesi

$$g = G \cdot \frac{M}{(R+x)^2} = G \cdot \frac{M}{d^2}$$ olarak ifade edilir.

Eğer bir gezegen küresel ve homojen bir özkütleye (yani her yerinde aynı yoğunluğa) sahipse, gezegenin yüzeyinden merkezine doğru inildikçe çekim ivmesi değişir. Gezegenin yüzeyindeki çekim ivmesi, gezegenin merkezine doğru indikçe, orada yer alan kütlenin azalmasından dolayı düşer. Yüzeyden merkeze inildikçe, daha az kütleyi içeren bir küre tarafından çekildiğimizi düşünebiliriz. Özkütlesi d olan gezegenin içinde bulunan ve merkezinden r kadar uzaklıkta yer alan bir noktada çekim ivmesi şu şekilde ifade edilir.



$M = V \cdot d$ (dünyanın kütlesi)

$V = \frac{4}{3} \cdot \pi r^3$ (r yarıçaplı kürenin hacmi)

Dünyanın kütlesi bağıntısında hacim değerini yerine yazarsak

$M = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot d$ bağıntısı elde edilir.

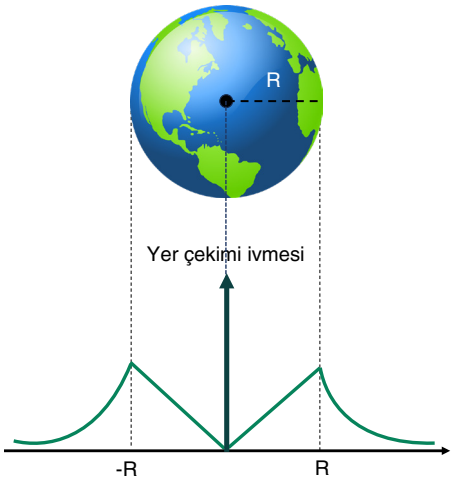
$g = G \cdot \frac{M}{r^2}$ bağıntısında bulunan kütle değeri yerine yazılırsa $g = G \cdot \frac{\frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3 \cdot d}{r^2}$ ifadesi elde edilir.

$g = G \cdot \frac{4 \cdot \pi \cdot r \cdot d}{3}$ ifadesinde $k = G \cdot \frac{4 \cdot \pi}{3}$ sabit değerlere k dersek

$g = k \cdot r \cdot d$ bağıntısı bulunur.

Bu denklem, merkeze doğru inildikçe iç kısmın katkısının nasıl azaldığını gösterir. Yüzeyde r, gezegenin yarıçapına eşit olacağından, bu noktadaki ivme en büyüktür. Merkeze doğru indikçe r değeri azalır ve buna bağlı olarak çekim ivmesi de azalır. Merkezde (r = 0) çekim ivmesi sıfırdır.

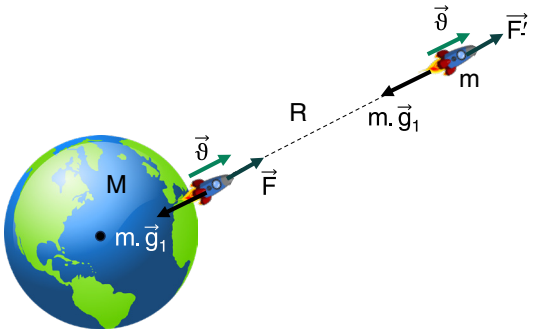
Yer Çekim İvmesinin Uzaklığa Bağlı Değişimi



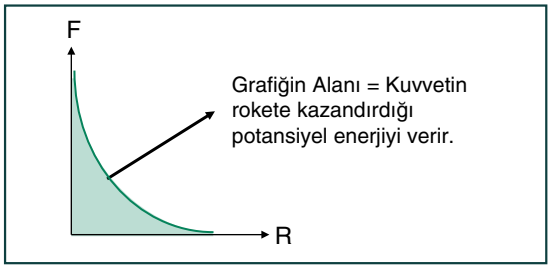
Yer çekim ivmesinin uzaklığa bağlı değişim grafiği

1. Gezegenin merkezinde, tüm yönlerde eşit miktarda kütlenin çekim etkisi birbirini sıfırlar bu nedenle net çekim kuvveti sıfırdır.
2. Homojen bir kütle dağılımına sahip bir gezegenin iç kısmında yer çekimi ivmesi, merkezden yüzeye doğru olan mesafe ile doğru orantılı olarak artar.
3. Gezegenin yüzeyi, merkeze olan en büyük uzaklıkta olduğu için ve daha fazla kütle çekimi etkisi altında olduğu için yer çekimi ivmesi orada en büyüktür.
4. Yer çekimi ivmesinin büyüklüğü gezegenin yüzeyinden uzaklaştıkça ters kare yasasına göre hiperbolik bir şekilde azalır.

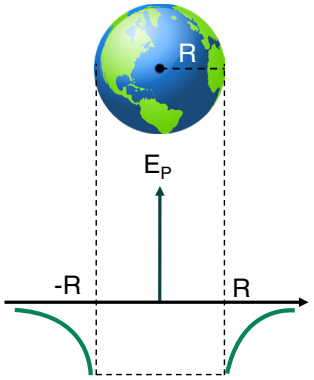
KÜTLE ÇEKİM POTANSİYEL ENERJİSİ



Görselde verilen m kütleli uzay aracının Dünya'dan uzaklaşmasıyla birlikte, üzerine etki eden kütle çekim kuvvetinde bir azalma gözlemlenir. Bu azalmanın nedeni, kütle çekim kuvvetinin iki kütle arasındaki mesafenin karesiyle ters orantılı olmasıdır. Başka bir deyişle, uzay aracı Dünya'dan ne kadar uzaklaşırsa, Dünya'nın üzerindeki çekim etkisi o kadar zayıflar ve böylece roketin hızını sabit tutmak için gereken itme kuvveti de azalır. Bu ilişki, uzay aracının Dünya'dan sonsuza kadar gittiği teorik bir durumda daha da belirginleşir: Eğer roket sonsuza götürülürse, bu itme kuvveti teorik olarak sıfıra ulaşır, çünkü artık Dünya'nın kütle çekim kuvvetiyle hiçbir etkileşimi kalmaz.



Rokete uygulanan kuvvetin uzaklığa bağlı değişim grafiği

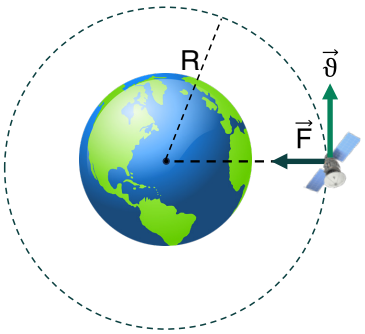


Çekim potansiyel enerjisinin uzaklığa bağlı değişim grafiği

Uygulanan kuvvetin mesafeye bağlı grafik; kuvvetin, roketin üzerinde ne kadar mesafe boyunca uygulandığını ve bunun sonucunda ne kadar iş yapıldığını gösterir. Roketin hızı sabit kaldığında, yani kinetik enerjisi değişmediğinde, grafikteki alanın büyüklüğü doğrudan potansiyel enerji artışıyla ilişkilendirilir. Roketi uzaya, Dünya'nın çekim alanının etkisi olmayan bir noktaya, yani teorik olarak sonsuza götürdüğümüzde. Bu seyahat sırasında uygulanan kuvvetin ve yolun grafiği çizildiğinde, eğrinin altında kalan alan azalır ve sonunda sıfır olur. Çünkü artık rokete etki eden kütle çekim kuvveti yoktur. İşte bu yüzden potansiyel enerji de sıfırlanmış olur. Olayı matematiksel olarak ifade etmek gerekirse, potansiyel enerji formülüne bir eksi işareti koyarız. Bu negatif işaret, Dünya'dan uzaklaşma sırasında potansiyel enerjinin artmasını, ancak roketin sonsuzda Dünya'nın çekim kuvvetinden tamamen kurtulduğunda potansiyel enerjinin sıfır olmasını anlatır. Negatif değerler küçüldükçe büyüyecektir.

$$E_P = -G \cdot \frac{M \cdot m}{R}$$

BAĞLANMA ENERJİSİ



Bağlanma enerjisi, bir uydunun yörüngeye girdikten sonra orada kalabilmesi için sahip olması gereken toplam mekanik enerjidir. Bu enerji, uydunun kinetik enerjisi ile potansiyel enerjisinin toplamıdır.

$E_{bağlanma} = E_K + E_P$

Uydu yörüngede dairesel bir hareket yaptığı için kinetik enerjisi $E_K = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \vartheta^2$ olarak ifade edilir. Kinetik enerji ifadesinde $\vartheta^2 = G \cdot \frac{M}{R}$ olarak bulunur.

$E_P = -G \cdot \frac{M \cdot m}{R}$ olarak ifade edilir.

Yörüngedeki bir cismin kinetik enerjisinin, mutlak değer olarak potansiyel enerjisinin yarısı kadar olduğu görülmektedir.

$$E_{bağlanma} = G \cdot \frac{M \cdot m}{2R} + (-G \cdot \frac{M \cdot m}{R})$$

$$\boxed{E_{bağlanma} = -G \cdot \frac{M \cdot m}{2R}}$$

Mekanik enerjinin negatif olması bu sistemin bağlı olduğunu gösterir.

KURTULMA ENERJİSİ

Dünya'nın yerçekimi alanından tamamen ayrılabilmesi için gerekli olan enerji, kurtulma enerjisidir. Bu, cismin yörüngede bulunduğu noktadan, yerçekiminin artık etkilemediği sonsuz uzaklığa çıkabilmesi için gereken kinetik enerjidir. Başka bir deyişle, cisme, mevcut mekanik enerjisini sıfırlayacak kadar kinetik enerji verildiğinde, cisim yerçekimi alanından tamamen kurtulur. Eğer cismin mekanik enerjisi sıfırsa, bu onun kaçış hızına ulaştığını ve yerçekimi alanını terk ettiğini gösterir. Kaçış hızı ise, cismin mekanik enerjisini sıfıra getirecek hızdır.

Bağlı bir sistemin mekanik enerjisi $-G \cdot \frac{M \cdot m}{2R}$ dir. Bu enerjiyi sıfır yapmak için verilmesi gereken kinetik enerji kurtulma enerjisidir.

$$\boxed{E_{kurtulma} = G \cdot \frac{M \cdot m}{2R}}$$

KEPLER KANUNLARI

GÖK CİSİMLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Batlamyus (temsilî)

Tarih boyunca, insanlık gezegenlerin, yıldızların ve diğer gökyüzü cisimlerinin hareketlerine büyük bir ilgi göstermiştir. Bu gözlemler, Antik Yunan'dan başlayarak, farklı kültürler ve medeniyetler arasında yaygın bir merak konusu olmuştur. İnsanlar, Dünya'yı evrenin merkezi olarak kabul eden Yer merkezli bir modeli benimsemişlerdi. Bu model, genellikle Batlamyus Modeli olarak bilinir ve Batlamyus tarafından ikinci yüzyılda sistematik bir şekilde biçimlendirilmiştir. Bu model, takip eden 1400 yıl boyunca astronomik anlayışın temelini oluşturmuştur.

Uluğ Bey

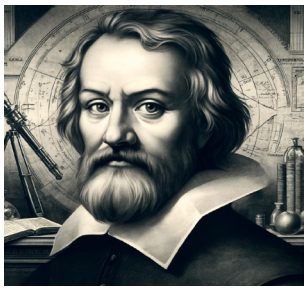
Uluğ Bey, astronomiye ve bilime büyük katkıları olan, Orta Asya'nın en ünlü hükümdar bilim insanlarından biridir. İsim babası olduğu Zîc-i Uluğ Bey, gökbilim tarihinde çok önemli bir yere sahiptir. Bu eser, binden fazla yıldızın konumlarını ve parlaklıklarını içerir ve dönemin en doğru astronomi tablolarından biri olarak kabul edilir. Uluğ Bey, ilmin hüküm sürdüğü bir toplumu yeğleyen bir düşünce yapısına sahipti ve bu düşünceyi yaşamı boyunca uyguladı.

Semerkant'ta kurduğu medrese ve gözlemevi, dönemin en önemli bilim merkezlerinden biri haline geldi ve birçok önemli bilim insanını bu merkezde topladı. Ali Kuşçu gibi zamanının değerli bilim insanlarıyla birlikte çalıştı. Çalışmalarının kalitesi, eserlerinin 17. ve 19. yüzyıllarda Batı'da tercüme edilip yayımlanmasına ve uluslararası alanda tanınmasını sağladı. Uluğ Bey'in astronomiye olan katkıları, Uluslararası Astronomi Birliği tarafından da takdir edilmiş ve onun adını taşıyan bir krater Ay'da kendine yer bulmuştur. Bu, onun bilime olan etkisinin uzaya kadar uzandığını gösteren simgesel bir anma şeklidir. Uluğ Bey'in düşünce yapısı ve bilime olan sevdası, bugün bile ilham verici olmaya devam etmektedir.

Ali Kuşçu

Ali Kuşçu, Orta Asya ve Osmanlı bilim tarihinde çok önemli bir figürdür. Uluğ Bey'in Semerkant'taki çalışma arkadaşı olarak bilim alanında önemli çalışmalara imza atmış ve Uluğ Bey'in vefatından sonra Osmanlı Devleti'nin daveti üzerine İstanbul'a gelmiştir. Fatih Sultan Mehmet'in döneminde Ayasofya Medresesi'nde müderris olarak görev yapmış ve Osmanlı'da matematik ve astronomi alanındaki ilerlemenin öncüsü olmuştur.

İstanbul'un enlem ve boylamını ölçen ve güneş saatleri yapan Ali Kuşçu'nun astronomi ve matematik üzerine birçok eseri, dünya medreselerinde uzun yıllar okutulmuş ve büyük bir etki yaratmıştır. Fethiyye isimli eseri, dönemin padişahı Fatih Sultan Mehmet'e ithaf edilmiştir. Ay'ın haritasını gerçeğe yakın bir şekilde çizen ilk astronomlardan biri olarak bilinir ve NASA tarafından bu çalışmalarının anısına Ay üzerinde bir kısma onun adı verilmiştir. Ali Kuşçu, 1474 yılında İstanbul'da hayatını kaybetmiş ve bilimsel mirası günümüze kadar ulaşmıştır.



Galileo

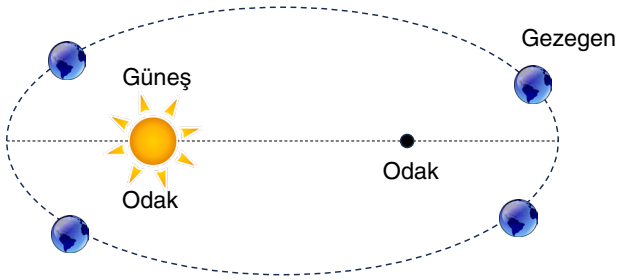
Galileo Galilei, felsefe, matematik, müzik ve astronomi gibi alanlarda çalışmış, modern fiziğin ve gözlemsel astronominin temellerini atan İtalyan bir bilim insanıdır. Yaptığı deneysel çalışmalarla Aristo'nun doğa görüşüne meydan okumuş ve evrenin matematiksel ilkelerle açıklanabileceğini savunmuştur. Galileo, kendi yaptığı teleskopla gökyüzü cisimlerini gözlemlemiş, Ay'ın yüzeyindeki kraterleri, Güneş'te lekeleri ve Jüpiter'in dört büyük uydusunu keşfetmiştir. Bu bulguları, Batlamyus'un Yer merkezli evren modeline karşıt olarak, Güneş merkezli evren modelini destekler nitelikteydi. Ayrıca mekanik alanında da önemli çalışmalar yapmış, sarkaçların hareketini ve cisimlerin düşme hızlarını incelemiştir. Galileo'nun bilimsel metodolojisi ve keşifleri, bilim tarihinde bir dönüm noktası oluşturmuş ve sonraki nesiller için bir ilham kaynağı olmuştur.

KEPLER KANUNLARI

Johannes Kepler'in astronomiye katkıları gerçekten de büyük önem taşır. Kepler, Nicolaus Copernicus'un Güneş merkezli evren teorisini genişletti ve gözlemlere dayanan daha doğru bir model ortaya koydu. Copernicus, gezegenlerin Güneş etrafındaki hareketlerinin dairesel olduğunu ve sabit hızda gerçekleştiğini öne sürmüştü. Ancak Kepler, Tycho Brahe'nin dikkatlice topladığı gözlem verilerini kullanarak, bu teorinin eksikliklerini giderdi.

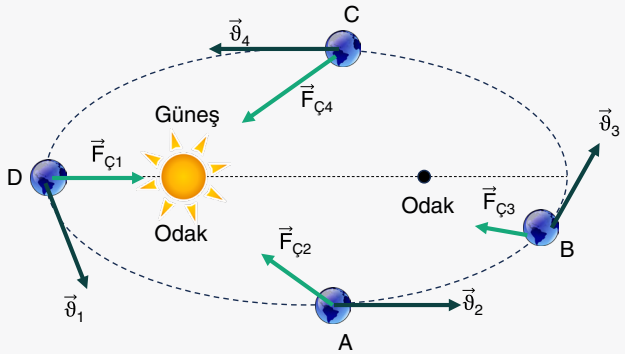
Kepler'in buluşlarının temelinde, gezegenlerin Güneş etrafında eliptik yörüngelerde hareket ettiği ve Güneş'e yakınlıklarına göre hızlarının değiştiği yatmaktadır. İşte Kepler'in üç yasası şöyle sıralanabilir:

1. Yörüngeler Kanunu



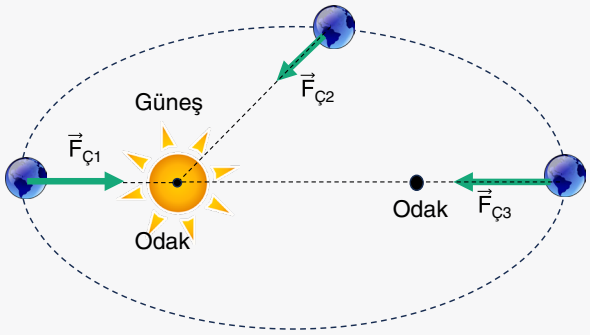
Gezegenler Güneş'in etrafında eliptik yörüngelerde dönerler. Bu yörüngelerin şekli, elipsin iki odak noktasından birinde Güneş vardır. Bu durum, gezegenlerin Güneş'e yakın olduklarında kütle çekim kuvvetinin daha fazla olması sebebi ile hızlandıkları anlamına gelir. Buna karşılık, Güneş'ten uzaklaştıkça kütle çekim kuvveti zayıflar, hızları azalır.

KRİTİK BİLGİ



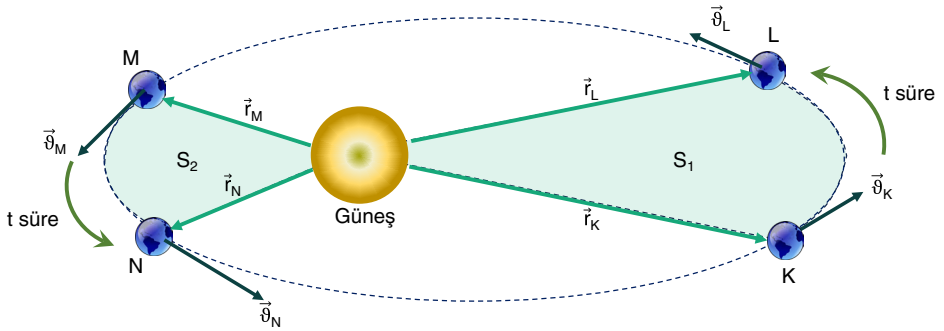
Gezegen güneş etrafında dolanırken, sürat büyüklüğü ve kütle çekim kuvveti faklı değerler alır. Hız vektörü ile kuvvet vektörü arasındaki açı 90°den küçük olduğu zaman gezegen hızlanır, açı 90°den büyükse gezegen yavaşlar.

KRİTİK BİLGİ



Açısal momentum, bir cismin dönme hareketinin büyüklüğünü ve yönünü tanımlayan vektörel bir niceliktir. Eğer üzerine net bir tork etkisi uygulanmazsa, açısal momentumun büyüklüğü ve yönü sabit kalır. Güneş'in gezegene uyguladığı kütle çekim kuvveti, gezegenin üzerinde tork etkisi oluşturmaz çünkü bu kuvvet gezegenin kütlesinin merkezine doğru yönelir. Bu nedenle, gezegenin açısal momentumu korunur.

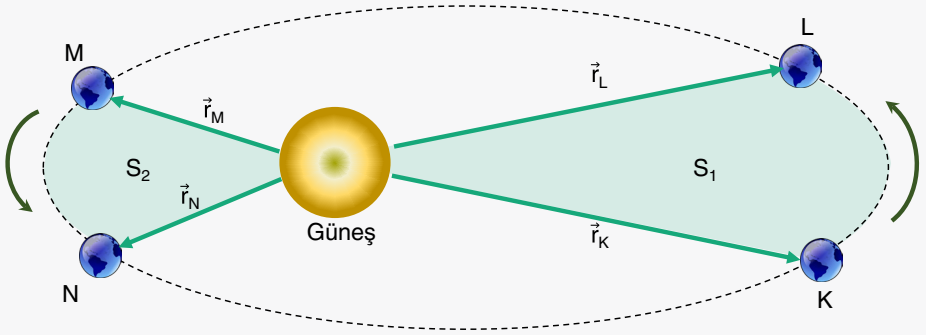
2. Alanlar Kanunu



Bir gezegen, Güneş etrafında dolanırken eşit zaman aralıklarında eşit alanlar tarar. Bu olay, Kepler'in alanlar yasası olarak tanımlanır. Bu yasaya göre, K noktasından L noktasına t sürede gelen gezegenin yarıçap vektörü S_1 alanını tarar. Aynı süre içinde M noktasından N noktasına gelen gezegenin yarı çap vektörü de S_2 alanını tarar. Taranan bu alanlar birbirine eşittir. Güneş etrafında dolanan bir gezegene dışarıdan net bir tork uygulanmadığı için gezegenin açısal momentumu korunur. Bu durumda, gezegen Güneş'e yaklaştıkça yarıçapı azalır ve dolayısıyla çizgisel hızı artar. Tam tersi olarak, Güneş'ten uzaklaştıkça yarıçapı artar ve bu da gezegenin çizgisel hızının azalmasına neden olur.

$$S_1 = S_2$$

KRİTİK BİLGİ



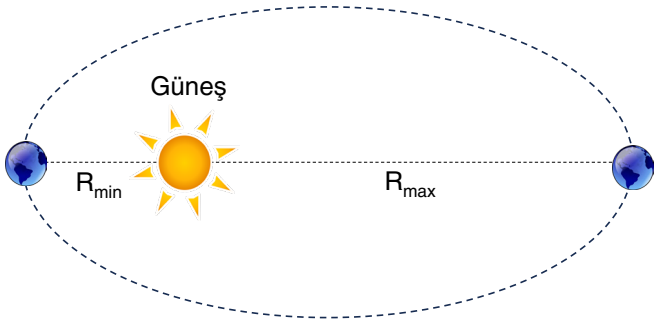
Açısal momentum, dönen veya yörüngede hareket eden bir cismin dönme miktarını ifade eden fiziksel bir niceliktir. Açısal momentum L, cismin kütlesi m, yörünge yarıçapı r ve açısal hızı ω ile ifade edilir.

Eğer üzerine dışarıdan bir tork uygulanmazsa, bir sistemin açısal momentumu zamanla değişmez.

$L = m \cdot r^2 \cdot \omega$ formülünde L değeri sabit olmalıdır.

Gezegenin kütlesi (m) sabittir. Ancak gezegenin güneş çevresindeki eliptik yörüngesi nedeniyle yörünge yarıçapı r, yani gezegenin güneşten olan uzaklığı değişir. Güneşe yaklaştıkça r değeri azalır. Açısal momentumun korunumu prensibi gereği, r azaldıkça açısal hız ω artar. Bu durum, gezegenin güneşe en yakın olduğu noktada, en hızlı hareket ettiği anlamına gelir.

3. Periyotlar Kanunu



Periyotlar Kanunu, bir gezegenin Güneş etrafındaki dönme süresi ile Güneş'e olan ortalama uzaklığı arasındaki ilişkiyi tanımlar. Ortalama yarıçap (R), gezegenin Güneş'e en yakın ve en uzak olduğu mesafenin ortalamasıdır. Kanun, herhangi bir gezegenin yörünge periyodunun karesinin, o gezegenin eliptik yörüngesinin ortalama yarıçapının küpüyle doğru orantılı olduğunu belirtir.

$$R = \frac{R_{min} + R_{max}}{2} \qquad \text{Sabit} = \frac{R^3}{T^2}$$

BASİT HARMONİK HAREKET KAVRAMLARI

BASİT HARMONİK HAREKET

Doğada sıkça gözlemlediğimiz ve belirli bir düzen içerisinde sürekli olarak yinelenen hareketlere salınım hareketleri denir. Bu tür hareketler genellikle bir nesnenin bir noktadan diğerine veya aşağı yukarı doğru ritmik bir şekilde hareket etmesiyle gerçekleşir. Örnek vermek gerekirse, bir çocuğun sallanan bir salıncağı itmesi, ileri geri düzenli bir salınım oluşturur. Benzer şekilde, bir rüzgar çanının hafif bir esintiyle sağa sola sallanması da bu hareketlerin bir örneğidir. Bu tür düzenli ve tekrar eden hareketler periyodik hareketler olarak adlandırılır.

Basit harmonik hareket, bir cismin denge noktası etrafında düzgün bir şekilde salınmasıdır. Bu özellik, basit harmonik hareketin belirleyici özelliklerindendir ve yaylar, sarkaçlar ve titreşimli sistemler gibi birçok fiziksel sistemde görülebilir.

Rüzgar çanı

Sallanan salıncak

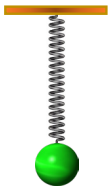
Bungee jumping yapan sporcu

Salınım hareketi yapan bazı araçlar

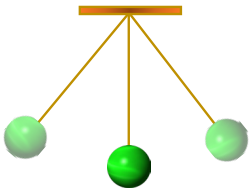
Metronom

Sallanan sandalye

Sarkaçlı saat



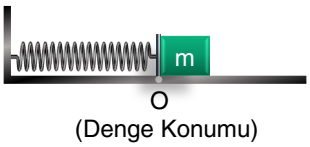
Yay sarkacı



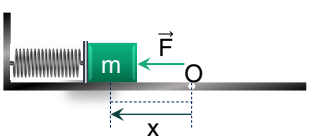
Basit sarkaç

Basit harmonik hareket (BHH), ideal bir ortamda, bir cismin denge konumuna geri dönmesine neden olan geri çağırıcı bir kuvvet ile oluşur. Bu hareketin en bilinen örnekleri yay sarkacı ve basit sarkaçtır.

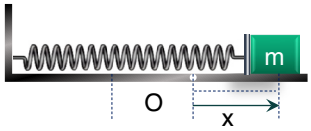
Bir salınım hareketinin basit harmonik hareket olarak tanımlanabilmesi için belirli koşulların sağlanması gerekmektedir. Cismin denge konumundan ne kadar uzaklaştığı, üzerine etki eden kuvvetle doğru orantılı olmalıdır.



Şekil I



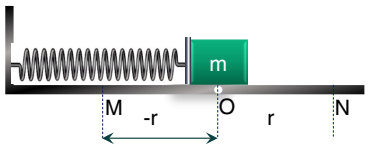
Şekil II



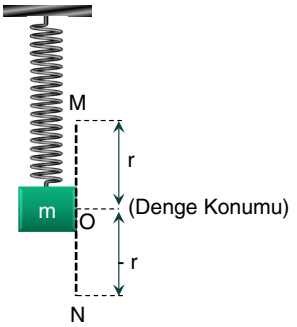
Şekil III

Şekil I'deki sistemde denge konumunda yaya uygulanan net kuvvet sıfırdır.

Şekil II'deki gibi, sürtünmesiz bir ortamda, bir yay F kuvvetiyle x kadar sıkıştırılırsa, yaydaki kuvvetin büyüklüğü $F_{yay} = k \cdot x$ bağıntısı ile bulunur. Görüldüğü üzere, kuvvet alınan yol ile orantılı bir şekilde değişmektedir. Cisim serbest bırakıldığında, Şekil III'deki gibi denge noktası etrafında simetrik olarak gidip gelme hareketi yapacaktır ayrıca sistemin ivmesi de kuvvetle aynı yönde ve yönü hep denge noktasına doğrudur. Cismin yaptığı hareket basit harmonik hareket tanımına uyar.



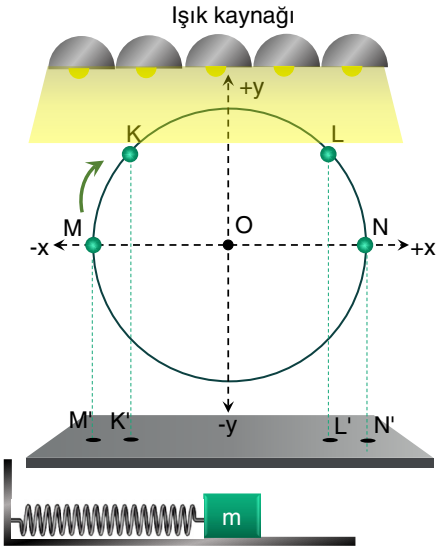
Yatay düzlemde M-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan m kütleli cisim



Düşey düzlemde M-N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan m kütleli cisim

Sürtünmesiz düşey ve yatay düzlemlerde, uçlarına m kütleleri bağlı yaylar bulunmaktadır. Bu cisimler, O denge konumundan bir miktar çekilerek bırakıldıklarında, M ve N noktaları arasında gidip gelirler. Bu hareket, basit harmonik hareket olarak adlandırılır. Tam bir salınımın (titreşim) meydana gelmesi için, hareket eden kütlenin, aynı noktadan aynı yönde defalarca geçmesi gereklidir. Bu süreç, kütlenin hareketini tam bir döngü olarak tamamlamasını sağlar ve bu da sistemin periyodik doğasını ortaya koyar.

BASİT HARMONİK HAREKET İLE DÜZGÜN ÇEMBERSEL HAREKET İLİŞKİSİ

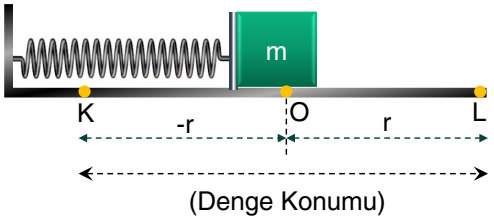


Düzgün çembersel hareket yapan cismin yatay eksen üzerindeki iz düşümü

Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin, yatay ve düşey düzlemlerdeki hareketlerinin gölgeleri, basit harmonik hareketin bir örneğini oluşturur. Cisim çemberin M noktasından K'ye ulaştığında, bu noktanın x ekseni üzerindeki iz düşümü K' noktasına denk gelir. Cisim çember boyunca hareketine devam edip L noktasına vardığında ise, x ekseni üzerindeki iz düşümü L' noktasında bulunur. Bu şekilde, cismin iz düşümü, belirgin bir M ve N aralığında ileri geri salınım yapar. Bu durum, özellikle dönen nesnelerin gölgeleri üzerinden günlük yaşamda da gözlemlenebilir ve bu gözlemler, basit harmonik hareketin pratikte nasıl ortaya çıktığını anlamamıza yardımcı olur.

BASİT HARMONİK HAREKET İLE İLGİLİ KAVRAMLAR

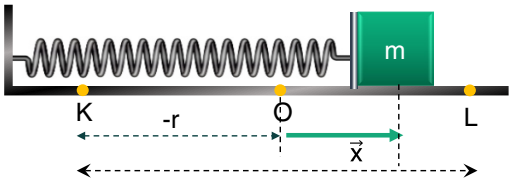
Denge noktası:



Cismin hareket etmediği ve cisimin üzerindeki net kuvvetin sıfır olduğu nokta olarak tanımlanır.

Şekildeki O noktası denge noktasıdır.

Uzanım (x):



Basit harmonik hareket yapan bir cismin, belirli bir anda denge noktasından cisimin bulunduğu konuma çizilen vektör "uzanım" vektörü olarak tanımlanır. Bu vektörün büyüklüğü, "x" harfi ile gösterilir ve uzanımın ölçüm birimi metredir. Uzanımın maksimum değeri, yani cismin denge noktasından en uzakta bulunduğu nokta genliktir, en düşük değeri ise cismin denge noktasında olduğu zaman uzanımı sıfırdır. Uzanım, cismin K ve L noktaları arasında gidip gelmesiyle sürekli olarak değişkenlik gösterir.

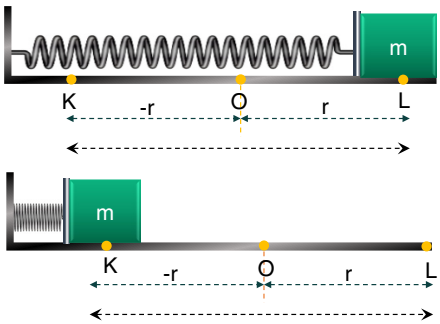
Periyot (T):

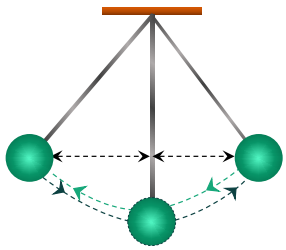
Basit harmonik hareket yapan bir cismin, aynı noktadan aynı yönde iki kez art arda geçmesi arasında geçen süreyi ifade eder. Bu süre "T" harfi ile sembolize edilir ve SI birim sisteminde saniye (s) olarak ölçülür.

Frekans (f):

Basit harmonik hareket yapan bir cismin bir saniye içerisinde gerçekleştirdiği salınım sayısına "frekans" denir. Bu miktar, "f" harfi ile simgelenir ve SI birim sisteminde saniye başına düşen salınım sayısı olarak tanımlanır; bu birim hertz (Hz) olarak bilinir. Periyot ile frekans arasındaki ilişki T • f = 1 şeklinde ifade edilir.

Genlik (r):

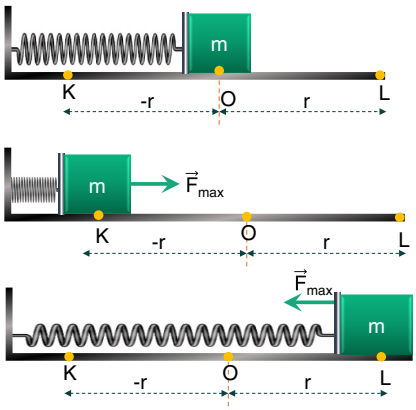


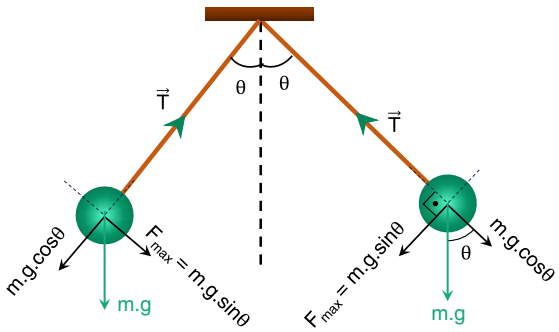


Genlik, basit harmonik harekette bir cismin denge noktasından en uzak olduğu noktaya olan maksimum mesafeyi ifade eder. Genlik, "r" harfi ile sembolize edilir ve ölçüm birimi olarak metre (m) kullanılır. Genlik, denge noktasına göre simetrik bir değerdir; yani cismin her iki yöndeki en uç noktaları denge noktasından eşit uzaklıktadır. Basit harmonik hareket yapan cismin, denge noktası O'dur ve bu noktadan cismin ulaştığı maksimum uzaklıklar, K ve L noktalarıdır. Burada |OK| ve |OL| mesafeleri eşit olup, her ikisi de r değerine eşittir.

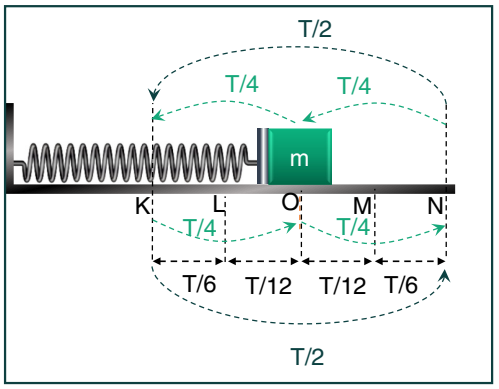
Geri Çağırıcı Kuvvet (F):

Geri çağırıcı kuvvet, basit harmonik hareket yapan bir cismin denge noktasından uzaklaştıkça artan ve cismi tekrar denge noktasına çeken kuvvettir. Yaylarda bu kuvvet, yayın gerilmesiyle oluşurken; sarkaçlarda yer çekiminin dikey bileşeni tarafından sağlanır. Geri çağırıcı kuvvet, denge noktasında sıfıra iner çünkü burada kuvvetin cismi harekete geçirecek herhangi bir net kuvvet yoktur. Ancak, cisim genlik noktalarına yani hareketinin en uç noktalarına ulaştığında geri çağırıcı kuvvet maksimuma ulaşır. Bu kuvvet, cismin denge noktasına geri dönmesini sağlayarak hareketin devamlılığını sağlar.





BASİT HARMONİK HAREKETTE PERİYODUN HESAPLANMASI



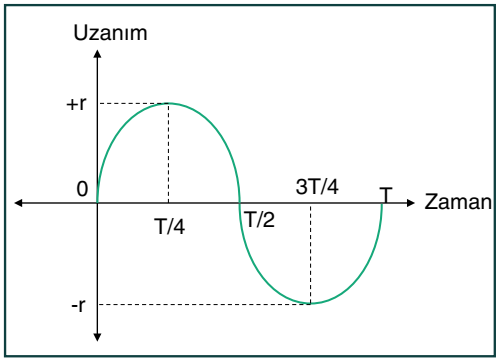
Cisim |OM| ile |OL| arasını T/12 sürede alır.

Cisim |MN| ile |LK| arasını T/6 sürede alır.

Cisim |ON| ile |OK| arasını T/4 sürede alır.

Sürtünmesiz bir sistemde, K ve N noktaları arasında basit harmonik hareket yapan bir cisim, hareketinin doğası gereği farklı hızlara sahip olacaktır. Bu hız değişiklikleri, cismin hareket halindeyken denge noktasına olan uzaklığının ve geri çağırıcı kuvvetin büyüklüğünün bir sonucudur. Denge noktasına yaklaştıkça hızı artar, çünkü geri çağırıcı kuvvet en düşükken potansiyel enerji en yüksek olur ve kinetik enerjiye dönüşür. Tersine, cisim genlik noktalarına, yani K ve L noktalarına yaklaştıkça hızı azalır çünkü burada potansiyel enerji artar ve kinetik enerji azalır.

Cismin tam bir salınımı tamamlaması, yani bir noktadan başlayıp aynı noktaya aynı yönde geri dönmek için geçen süre periyot T ile ifade edilir. Sürtünmesiz bir sistemde bu periyot, yayın sabiti veya sarkacın uzunluğu gibi sistem özelliklerine bağlı olarak sabit kalır. Periyodun sabit olması, hareketin frekansının da sabit olduğunu gösterir. Cismin yolda geçirdiği süre değişse de, bir tam döngüyü tamamlamak için gereken toplam süre değişmez.



Uzanımın zamana bağlı değişim grafiği

0-T/4 Zaman Aralığı: Bu zaman diliminde cisim, denge noktasından pozitif genlik olan +r noktasına doğru ilerler. Hız vektörü +r yönünde, ivme vektörü ise -r yönünde olduğundan (denge noktasına doğru), hız ve ivme zıt yöndedir. Bu zıt yönlülük, cismin pozitif yönde yavaşlamasına sebep olur. Denge noktasından uzaklaştıkça geri çağırıcı kuvvet artar, bu da cismin hızının azalmasına yol açar ve +r noktasına ulaşıldığında cismin hızı minimuma düşer. Bu noktada cismin kinetik enerjisi azalmış ve potansiyel enerjisi maksimuma çıkmıştır.

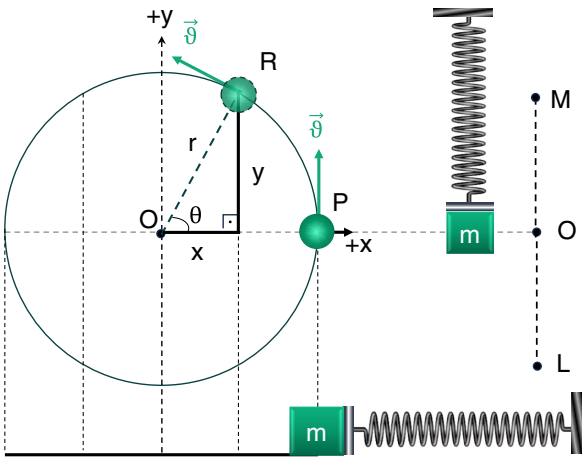
T/4 - T/2 Zaman Aralığı: Bu zaman diliminde, cisim +r'den denge noktası O'ya doğru hareket eder. Hem hız hem de ivme -r yönünde olduğundan cisim hızlanır. Bu süreçte cismin kinetik enerjisi artar, potansiyel enerjisi ise azalır.

T/2 - 3T/4 Zaman Aralığı: Bu zaman diliminde, cisim denge noktası O'yu geçtikten sonra maksimum negatif genlik olan -r noktasına doğru hareket eder. Bu süreçte, hız vektörü -r yönünde iken ivme vektörü +r yönündedir (denge noktasına doğru). Bu durumda, hız ve ivme zıt yönde olduğundan cisim yavaşlar. Denge noktasından uzaklaştıkça geri çağırıcı kuvvetin artması, cismin hızının azalmasına neden olur ve -r noktasına ulaştığında hız en düşük seviyeye iner. Bu süre zarfında, cismin kinetik enerjisi azalırken potansiyel enerjisi artar.

3T/4 - T Zaman Aralığı: Bu aralıkta cisim, maksimum negatif genlik olan -r'den denge noktasına doğru hareket eder. Bu süreçte hız ve ivme vektörleri denge noktası yönünde olduğundan, cisim hızlanır. Cismin kinetik enerjisi artarken potansiyel enerjisi azalır, ve denge noktasına ulaştığında cisim maksimum kinetik enerjiye sahiptir. Bu döngü sürekli olarak enerji dönüşümleriyle devam eder.

KONUMUN ZAMANA GÖRE DEĞİŞİMİ

Konum Denklemi



Basit harmonik hareketin analizinde konum denklemleri, cismin herhangi bir andaki denge noktasına olan uzaklığını belirlemek için kullanılır. Bu tür hareketlerde, cismin konumunu açıklamak için trigonometrik fonksiyonlardan yararlanılır. Basit harmonik hareketi çözümlemek için, çember içindeki dik üçgen kullanılır. cismin çember üzerindeki hareketi yatay ve düşey bileşenlere ayrılır:

$y = r \cdot \sin\theta$

$x = r \cdot \cos\theta$

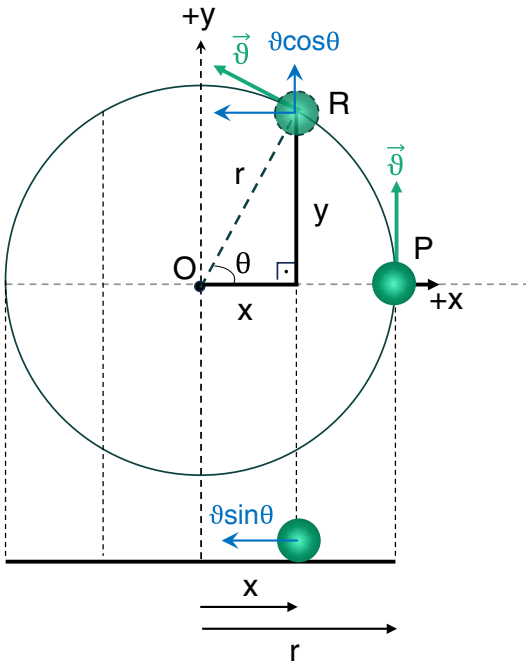
Açısal frekans ω, bir döngüsel bir hareketin ne kadar hızlı gerçekleştiğini ifade eder. Bu değer, zamanla orantılı olarak artan bir açısal değişim (θ) kadardır. Bağıntıyı kullanarak, cismin konum denklemleri zamanla değişen bir fonksiyon olarak ifade edilebilir.

$\omega = \frac{\theta}{t}$ buradan $\theta = \omega \cdot t$ bulunan θ değeri konum denklemlerinde yerine yazılırsa:

$x = r \cdot \cos\omega t$ $y = r \cdot \sin\omega t$ denklemleri elde edilir.

KUVVET, HIZ VE İVMENİN KONUMA GÖRE DEĞİŞİMİ

Hız Denklemi



Dairesel hareket yapan bir cismin yataydaki iz düşümünden yararlanarak hız denklemine ulaşılabilir. Çizgisel hız şekildeki gibi bileşenlerine ayrılırsa, yataydaki iz düşümünün hızı $\vartheta' = \vartheta \cdot \sin\theta$ bileşenidir.

$\sin\theta = \frac{y}{r}$ $\vartheta' = \vartheta \cdot \sin\theta$ Hız denkleminde sinüs değeri yazılırsa $\vartheta' = \vartheta \cdot \frac{y}{r}$ elde edilir.

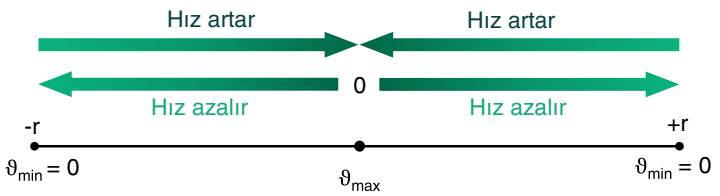
$\vartheta = \omega \cdot r$ değeri $\vartheta' = \vartheta \cdot \frac{y}{r}$ denkleminde yerine yazılırsa

$\vartheta' = \omega \cdot \cancel{r} \cdot \frac{y}{\cancel{r}}$ buradan $\omega \cdot y$ elde edilir.

Dik üçgenden $r^2 = y^2 + x^2$ $y^2 = r^2 - x^2$ $y = \sqrt{r^2 - x^2}$

$\vartheta' = \omega \cdot y$ bağıntısında bulduğumuz y değeri yerine yazılırsa $\vartheta' = \omega \cdot \sqrt{r^2 - x^2}$ ifadesi elde edilir.

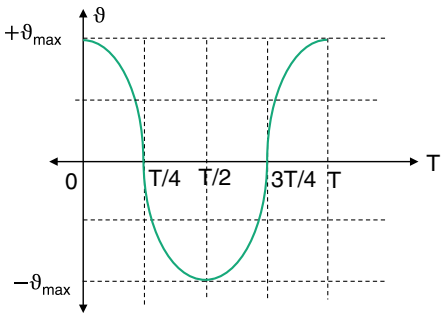
Bulduğumuz bu ifade basit harmonik hareket yapan bir cismin hareketinin herhangi bir konumda sahip olduğu hız büyüklüğüdür.



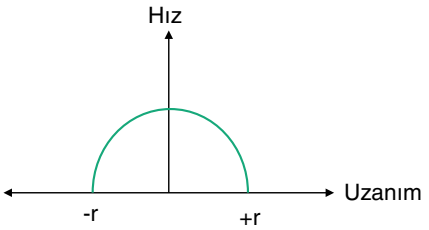
$\vartheta' = \omega \cdot \sqrt{r^2 - x^2}$ hız denkleminde uzanımın olmadığı denge noktasında x = 0 yazılırsa $\vartheta' = \omega \cdot \sqrt{r^2 - 0} \Rightarrow \vartheta_{max} = \omega \cdot r$ olur. Bu da denge noktasında cismin maksimum hıza sahip olduğunu gösterir.

$\vartheta' = \omega \cdot \sqrt{r^2 - x^2}$ hız denkleminde x = +r yazılırsa $\vartheta' = \omega \cdot \sqrt{r^2 - r^2} \Rightarrow \vartheta' = 0$ değerini alır. Bu da uzanımın maksimum olduğu noktalarda hız büyüklüğünün minimum değer aldığını gösterir.

$\vartheta' = \omega \cdot \sqrt{r^2 - x^2}$ hız denkleminde x = - r yazılırsa $\vartheta' = \omega \cdot \sqrt{r^2 - r^2} \Rightarrow \vartheta' = 0$ değerini alır. Buda uzanımın maksimum olduğu noktalarda hız büyüklüğünün minimum değer aldığını gösterir.

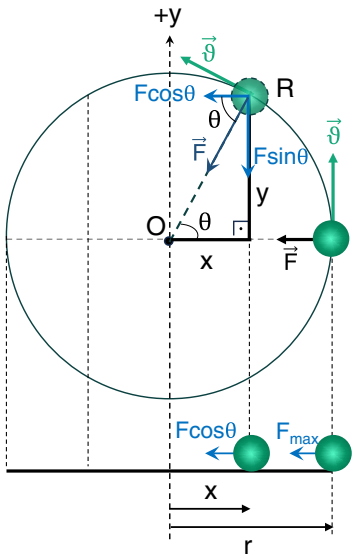


Basit harmonik hareket yapan cisme ait hız-zaman grafiği



Basit harmonik harekette hızın konuma bağlı değişim grafiği

Kuvvet Denklemi

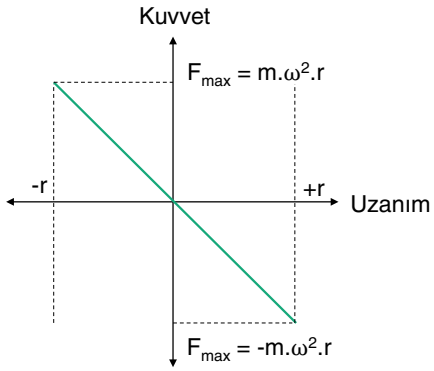


Düzgün çembersel hareket yapan bir cisim, merkezcil kuvvetin etkisi altında merkeze doğru sürekli bir ivmeli hareket yapar. Bu kuvvet, merkezcil kuvvet cismin yörüngesini sabit bir çember olarak korumasını sağlar. Merkezcil kuvvetin büyüklüğü sabittir ve yönü her zaman hareketin merkezine doğrudur. Düzgün çembersel hareket yapan bir cismin izdüşümü, yatay düzlemde basit harmonik hareket gerçekleştirir. Bu durumda, düzgün çembersel hareket yapan cisim üzerindeki merkezcil kuvvetin yatay bileşeni, basit harmonik hareket yapan bir cisim için geri çağırıcı kuvvet işlevi görür. Basit harmonik hareket yapan bir cisim üzerinde etkili olan geri çağırıcı kuvvet, her zaman denge noktasına doğru yönelir. Bu kuvvetin doğası gereği, denge noktasından uzaklaşıldıkça artar. Şekilde düşey düzlemde düzgün çembersel hareket yapan bir cisim üzerindeki kuvvetler ile bu kuvvetlerin yatay düzlemdeki iz düşümleri gösterilmektedir. Düzgün çembersel hareketteki merkezcil kuvvetin büyüklüğü;

$F = m \cdot \omega^2 \cdot r$ dir. Bu kuvvetin yatay bileşeni $F_x = F \cdot \cos\theta$ dır.

$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos\theta$ $\quad \cos\theta = \frac{x}{r}$ $\quad x = r \cdot \cos\theta$

$F_x = m \cdot \omega^2 \cdot r \cdot \cos\theta$ $\quad F_x = -\, m \cdot \omega^2 \cdot x$ bağıntısına ulaşılır.

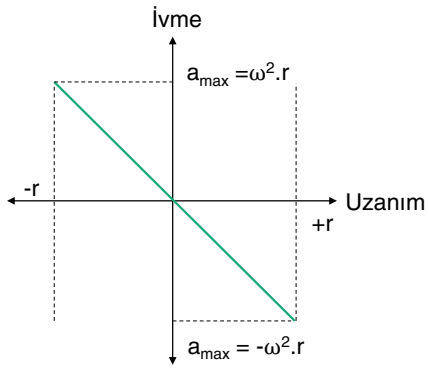


Kuvvetin uzanıma bağlı değişim grafiği

$$F_x = - m \cdot \omega^2 \cdot x$$

bağıntısı kullanılarak, şekildeki geri çağırıcı kuvvetin konuma bağlı olarak nasıl değiştiğini gösteren bir grafik verilmiştir. Matematiksel modeldeki negatif işaret, geri çağırıcı kuvvet ile uzanım vektörünün zıt yönlere işaret etmesinden kaynaklanır. Grafiği incelediğimizde, uzanımın büyüklüğü ile kuvvetin büyüklüğü arasında doğru orantılı bir ilişki olduğu açıkça görülmektedir.

İvme Denklemi:



Basit harmonik hareket yapan cismin ivme-uzanım grafiği

Newton'un İkinci Hareket Kanunu, F = m • a net kuvvetin (F) ivme (a) ve cismin kütlesi (m) ile çarpımına eşit olduğunu belirtir. Net kuvvet ile cismin ivmesi aynı yöndedir. Bağıntıda ivme yalnız bırakılırsa

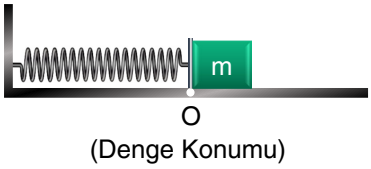
$\vec{a} = \dfrac{\vec{F}}{m} = \dfrac{-m \cdot \omega^2 \cdot \vec{x}}{m} = -\omega^2 \cdot \vec{x}$ bağıntısı elde edilir.

Basit harmonik hareket yapan cisme ait ivmenin, uzanıma bağlı grafiği incelendiğinde ivmenin büyüklüğünün uzanımla doğru orantılı değiştiği görülmektedir. Yani, cisim denge noktasından uzaklaştıkça ivmesi artar, denge noktasına yaklaştıkça ivmesi azalır. Geri çağırıcı kuvvet ise cismin denge noktasına doğru hareket etmesine neden olan kuvvettir ve ivmeyle aynı yönlüdür. Bu nedenle, basit harmonik hareket sırasında cismin ivmesi ve geri çağırıcı kuvveti daima denge noktasına doğru olur.

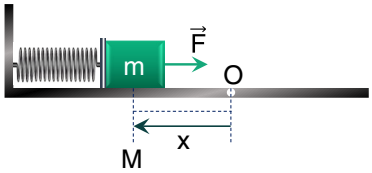
Konum	-r	$-\frac{r}{2}$	0	$\frac{r}{2}$	+r
Hız	0	$+r \cdot \omega \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$ $+r \cdot \omega \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	$r \cdot \omega$	$+r \cdot \omega \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$ $+r \cdot \omega \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}$	0
İvme	$\omega^2 \cdot r$	$\omega^2 \cdot \frac{r}{2}$	0	$-\omega^2 \cdot \frac{r}{2}$	$-\omega^2 \cdot r$
Kuvvet	$m \cdot \omega^2 \cdot r$	$m \cdot \omega^2 \cdot \frac{r}{2}$	0	$-m \cdot \omega^2 \cdot \frac{r}{2}$	$-m \cdot \omega^2 \cdot r$

BASİT SARKAÇ VE YAY SARKACI

YAY SARKACI VE BASİT SARKAÇTA PERİYODUN BAĞLI OLDUĞU DEĞİŞKENLER



Şekil I



Şekil II

Şekil I'deki denge noktasında duran m kütleli cismi Şekil II'deki gibi M noktasına kadar sıkıştırıldığında, sıkışan yay cisme denge noktası yönünde bir $\vec{F}$ kuvveti uygular. Bu kuvvet geri çağırıcı kuvvet diye isimlendirilir. Bu kuvvetin büyüklüğü;

$F = m \cdot \omega^2 \cdot x$ bağıntısı ile ifade edilir.

Bir yay x kadar sıkıştırıldığında Hooke yasasına göre yayda oluşan kuvvet $F = k \cdot x$ ile bulunur.

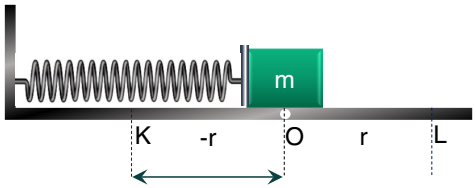
Denge konumdan x kadar mesafede bu iki kuvvet birbirine eşittir.

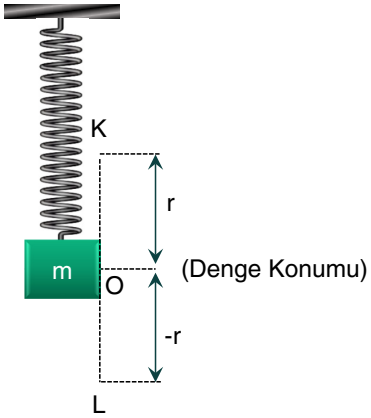
$m \cdot \omega^2 \cdot \cancel{x} = k \cdot \cancel{x} \Rightarrow m \cdot \omega^2 = k \Rightarrow \omega^2 = \frac{k}{m} \Rightarrow \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$ olarak bulunur.

Burada ω açısal frekanstır ve $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T}$ bağıntısı ile ifade edilir. $\frac{2 \cdot \pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}} \Rightarrow T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$ olarak bulunur.

Bulunan formüle göre, yay sarkacının periyodu cismin kütlesinin karekökü ile doğru, yay sabitinin karekökü ile ters orantılıdır.

YAY SARKACININ ÖZELLİKLERİ





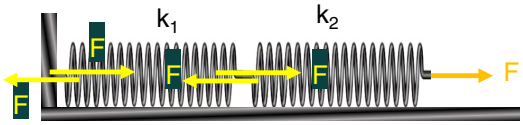
Düşey ve yatay düzlemde yay sarkaçları

- Denge noktasına (O) yaklaştıkça, cismin hızı artarken, ivmesi ve geri çağırıcı kuvveti azalmaktadır.
- Yay sarkacının bulunduğu ortamdaki çekim ivmesindeki değişiklikler, yay sarkacının salınım periyodunu etkilemez.
- Cismin ivmesi, denge noktası olan O'da sıfır iken, K ve L noktalarında maksimum değerine ulaşır.
- Cismin hızı, denge noktasında maksimuma ulaşırken, K ve L noktalarında sıfırdır.
- Geri çağırıcı kuvvet, denge noktasında sıfırken, uç noktalarda maksimum değerine ulaşır.
- Yay sarkacının genliği değişse de bu, periyodunu etkilemez. Ancak, genlikteki değişiklik yayda depolanan potansiyel enerjiyi değiştirdiği için, cismin maksimum hızını ve ivmesini etkiler.

YAYLARIN BAĞLANMASI

Yayların seri veya paralel bağlanması, özellikle mühendislik ve fizikte sıkça kullanılan bir yöntemdir. Bu yöntemlerin kullanılmasının temel nedeni, sistem dinamiklerini istenilen şekilde ayarlamaktır. Seri ve paralel bağlama şekilleri, yay sabitini ve dolayısıyla sistemin salınım periyodunu değiştirerek farklı uygulama ihtiyaçlarına uyum sağlar.

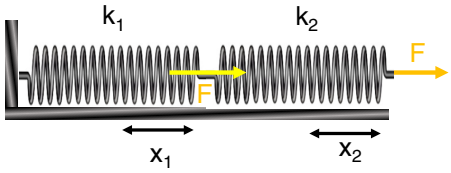
Yayların Seri Bağlanması



Seri bağlı yaylara uygulanan kuvvetler

Yaylar birbirine uç uca bağlandığında bu, seri bağlama olarak adlandırılır. Seri bağlı yaylarda, her bir yaya etkiyen kuvvet eşittir. Bu nedenle, her bir yay, yay sabitiyle ters orantılı olarak farklı miktarlarda uzar. Yay sabiti ne kadar büyükse, o yayın birim kuvvete karşı gösterdiği uzama o kadar az olur.

Bu ilişki, Hooke Yasası ile açıklanabilir. Hooke Yasası'na göre, bir yayın uzaması (x), uygulanan kuvvet (F) ile doğru orantılı ve yay sabiti (k) ile ters orantılıdır: $\boxed{x = \frac{F}{k}}$



İlk yay için uzama: $x_1 = \frac{F}{k_1}$

İkinci yay için uzama: $x_2 = \frac{F}{k_2}$

Tüm sistem için uzama: $x_1 + x_2 = \frac{F}{k_{eş}}$

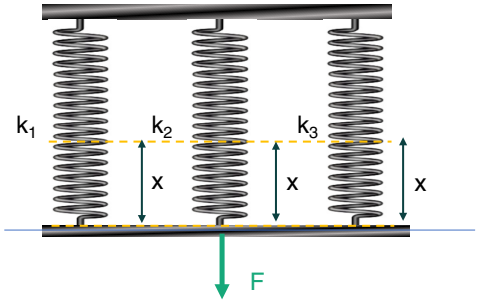
$x_1 + x_2 = \frac{F}{k_{eş}}$ bağıntısında uzama miktarları yerine yazılırsa; $\frac{F}{k_1} + \frac{F}{k_2} = \frac{F}{k_{eş}} \Rightarrow \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} = \frac{1}{k_{eş}}$ olarak bulunur.

n tane yayın seri bağlanması sonucunda oluşan yay sisteminin yay sabiti: $\boxed{\frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2} + \frac{1}{k_3} + \ldots + \frac{1}{k_n} = \frac{1}{k_{eş}}}$

n tane seri yayın oluşturduğu yay sarkacının periyodu;

$$\boxed{T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k_{eş}}}}$$

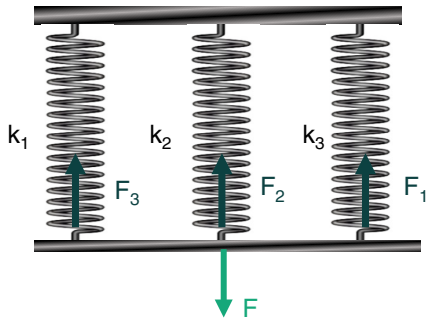
Yayların Paralel Bağlanması



Yayların paralel bağlanması, yayların yan yana konumlandırılarak tek bir kuvvet altında aynı uzama miktarına sahip olacak şekilde düzenlendiği bir sistemdir. Bu durumda, sistemdeki her bir yay aynı uzunlukta uzar. Yay sistemine uygulanan kuvvet aşağı yönlü kuvvetlerin toplamı yukarı yönlü kuvvetlerin toplamına eşittir. Buradan hareketle eş değer yay sabiti ($k_{eş}$) bulabiliriz.

$F = F_1 + F_2 + F_3 \Rightarrow k_{eş} \cdot x = k_1 \cdot x + k_2 \cdot x + k_3 \cdot x$

$\Rightarrow k_{eş} = k_1 + k_2 + k_3$ olarak bulunur.



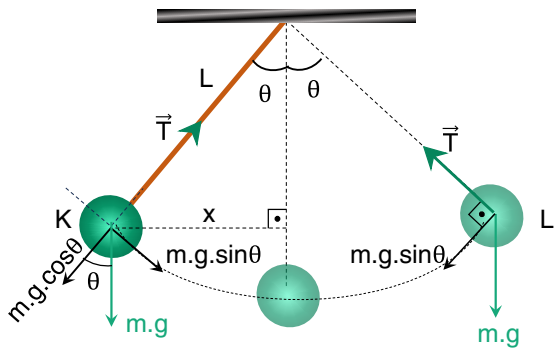
n tane yayın paralel bağlanması sonucunda oluşan yay sisteminin yay sabiti:

$k_{eş} = k_1 + k_2 + k_3 + ... + k_n$ olarak bulunur.

n tane paralel yayın oluşturduğu yay sarkacının periyodu

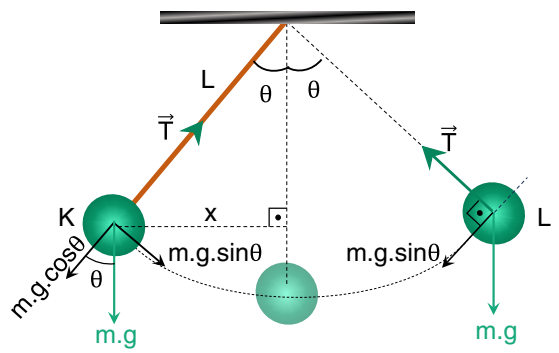
$T = 2\pi \cdot \sqrt{\dfrac{m}{k_{eş}}}$ bağıntısı ile hesaplanır.

Basit Sarkaç



Eğer bir cisim, m kütleli ve düşey eksene göre θ açısı kadar ayrılıp serbest bırakılırsa, cisim düşey eksen etrafında salınım hareketi yapar. Bu durumda O noktası salınım hareketinin denge noktasıdır. Bu sistemin basit harmonik hareket özelliği gösterebilmesi için sarkacın düşey eksenle yaptığı açı θ'nın 5°den küçük olması gerekir (θ < 5°).

m kütleli cismin K noktasındaki hızı ($\vartheta_K = 0$) sıfırdır. Cisim serbest bırakılınca hızlanarak O noktasına gelir. Cismi (KO) yolu boyunca hızlandıran, cismin ağırlığının bu doğrultudaki bileşeni m • g • sinθ dır. Bu kuvvet aynı zamanda geri çağırıcı kuvvettir ve θ açısına bağlı olarak değişir. Cisim O noktasına geldiğinde cisim maksimum hıza ulaşır ve O noktasında geri çağırıcı kuvvet sıfırdır, OL yolu boyunca geri çağırıcı kuvvet hıza ters yönlü artarak cismi yavaşlatır ve L noktasında hızı ($\vartheta_L = 0$) olur.



Cismin hareketi boyunca geri çağırıcı kuvvet m • g • sinθ olarak tanımlanır. Basit harmonik harekette geri çağırıcı kuvvet m • ω^2 • x şeklindedir. Bu iki kuvvet birbirine eşitlenirse

$\cancel{m} \cdot \omega^2 \cdot x = \cancel{m} \cdot g \cdot \sin\theta \quad \Rightarrow \quad \omega^2 \cdot x = g \cdot \sin\theta$ bağıntısında

$\sin\theta = \dfrac{x}{L}$ ifadesi denklemde yerine yazılırsa $\omega^2 \cdot \cancel{x} = g \cdot \dfrac{\cancel{x}}{L}$

$\omega^2 = \dfrac{g}{L}$ ifadesinde $\omega = \dfrac{2 \cdot \pi}{T}$ ifadesi bağıntıda yerine yazılırsa

$T = 2\pi \cdot \sqrt{\dfrac{L}{g}}$ olarak bulunur.

Basit Sarkacın Özellikleri

K ve L noktaları arasında basit harmonik hareket yapan basit bir sarkaca bağlı cismin hızı, denge konumuna doğru artar. Cismin hızı, K ve L noktalarında anlık olarak sıfırdır.

Sarkacın periyodu, θ < 5° şartıyla genliğe bağlı değildir. Bu durum, açının küçük olması halinde sarkacın sinüs fonksiyonunun açının kendisine yaklaşık olarak eşit olduğunu (sinθ ≈ θ) ve bu yüzden periyodun açıdan bağımsız olduğunu gösterir.

Sarkacın periyodu, cismin kütlesine bağlı değildir. Periyot sadece sarkacın uzunluğu ve yer çekimi ivmesine bağlıdır.

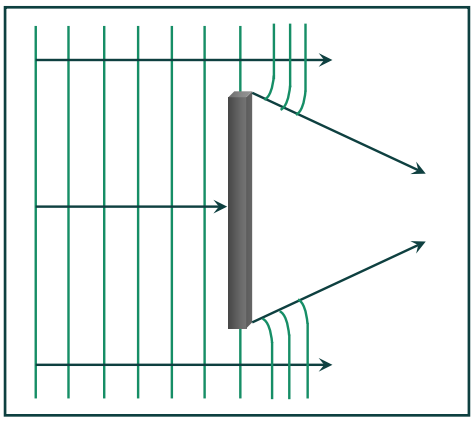
SU DALGALARINDA KIRINIM VE GİRİŞİM

DALGALARDA KIRINIM, GİRİŞİM VE DOPPLER OLAYI

Su dalgalarında Kırınım:

Dalgaların yıpratıcı etkilerinden yatları koruyan yat limanı

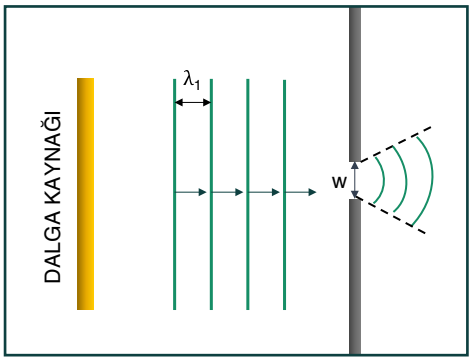
Kıyı yapıları, dalgaların neden olduğu yıkıcı etkileri azaltmada çok önemli bir role sahiptir. Koylar ve limanlar gibi doğal veya yapay yapılar, dalgaların gücünü keserek gemi ve balıkçı tekneleri için daha güvenli alanlar yaratır. Dalgakıranlar ise, genellikle denizden gelen dalgaların doğrudan çarpmasını engelleyerek kıyıdaki yapılar ve araçlar üzerindeki etkileri minimize eder.



Keskin kenarda dalgaların kırınımı

Kırınım, dalgaların bir engelle karşılaştıklarında veya dar bir aralıktan geçtiklerinde yön değiştirip bükülmesi olarak tanımlanır. Bu olay, su dalgalarının yanı sıra ışık ve ses dalgaları gibi diğer dalga türlerinde de görülür.

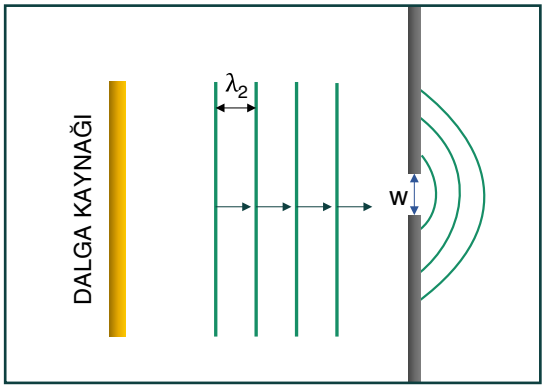
Su Dalgalarında Kırınım Şartları



Dalga boyunun yarık genişliğine yaklaşık olarak eşit olma durumu

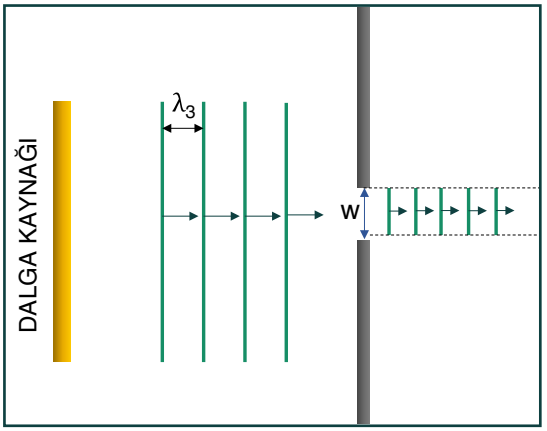
Doğrusal dalgaların kırınımı, dalgaların engeller arasından geçtiği her durumda gerçekleşmez. Kırınım olayının meydana gelip gelmemesi, yarık genişliği (w) ile dalga boyu (λ) arasındaki ilişkiye bağlıdır.

Dalga boyu (λ) ile yarık genişliği (w) yaklaşık olarak birbirine eşit olduğunda ($\lambda_1 \approx w$), kırınım gözlenmeye başlar. Bu durumda, su dalgaları yarıktan geçtikten sonra bükülür ve yayılmaya devam eder.



Dalga boyunun yarık genişliğinden büyük olma durumu

Dalga boyu yarık genişliğinden büyükse ($\lambda_2 > w$), kırınım gözlenir. Görselde görüldüğü üzere dalgalardaki bükülme fazlalaşır. Dalgalar her yöne yayılır ve desen daha belirgin hale gelir.



Dalga boyunun yarık genişliğinden küçük olma durumu

Dalga boyu yarık genişliğinden küçük olduğunda ($\lambda_3 < w$), dalgalar bükülmez ve engelden doğrusal olarak geçer. Bu durumda, su dalgalarında kırınım gözlenmez.

KRİTİK BİLGİ

Kırınımın artması, dalga boyu (λ) ile yarık genişliği (w) arasındaki orana bağlıdır.

$\frac{\lambda}{w} > 1$ olmalıdır. Dalga boyu sabit bırakılıp yarık genişliği küçültülürse kırınım artar.

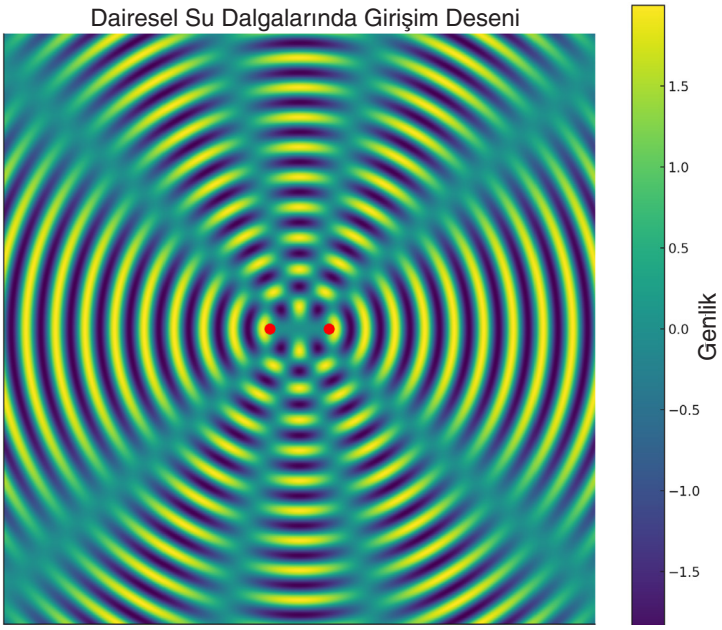
Su dalgalarında dalga boyu $\lambda = \frac{\vartheta}{f}$ bağıntısı ile ifade edilir. Sürat (ϑ) dalganın yayıldığı ortamla ilişkilidir, frekans (f) ise dalga kaynağına bağlıdır.

Su dalgasının bulunduğu ortamı değiştirerek sürat artırılırsa frekans sabit olduğundan dalga boyu büyüyecektir. Böylece kırınım artacaktır.

SU DALGALARINDA GİRİŞİM OLAYI

Girişim, dalgaların birbiriyle etkileşimi sonucu meydana gelen bir olaydır ve su dalgalarında gözlemlenebilir. Su yüzeyinde birden fazla kaynağın oluşturduğu dairesel dalgalar birbirleriyle karşılaştığında, bu dalgalar birbirlerini kuvvetlendirebilir veya sönümleyebilir. Bu karşılaşma sonucunda dalgaların üst üste binmesiyle bir dalga deseni oluşur ve bu desene "girişim deseni" denir.

Dairesel Su Dalgalarında Girişim Deseni



İki dalga kaynağı diyagramın ortasında kırmızı noktalarla işaretlenmiştir. Bu kaynaklar, su yüzeyinde dairesel dalgalar oluşturur. Dalgalar, kaynaklardan yayılarak dairesel dalga cepheleri oluşturur. Dalgalar, kaynaklardan dışa doğru yayıldıkça daha geniş alanları kaplar. Dalgaların tepe noktalarının çakıştığı bölgelerde dalgaların genliği artar. Bu bölgeler diyagramda daha parlak (daha açık renklerle) gösterilmiştir. Bu, dalgaların güçlendiği yerlerdir. Bir dalganın tepe noktasının, diğer dalganın çukur noktasına denk geldiği bölgelerde dalgaların genliği azalır. Bu bölgeler diyagramda daha koyu renklerle gösterilmiştir. Bu, dalgaların birbirini sönümlediği yerlerdir. Görselde sağda yer alan renk skalası, genlik değerlerini temsil eder. En yüksek genlik değerleri parlak sarı renkle, en düşük genlik değerleri ise koyu mor renkle gösterilmiştir.

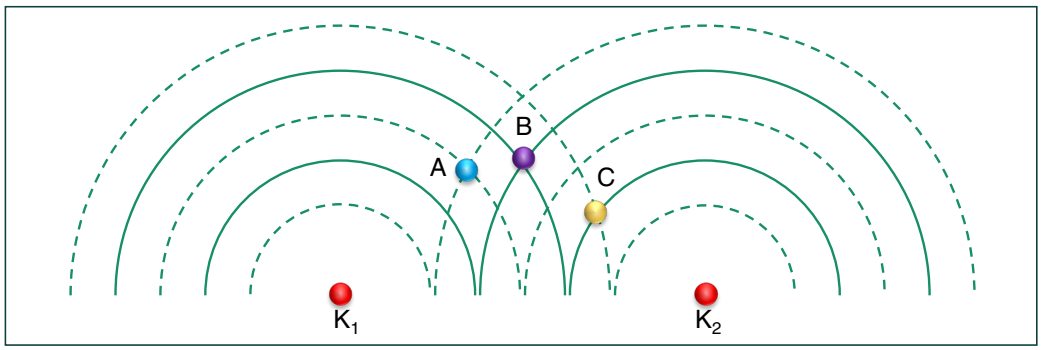
Aynı fazda çalışan kaynaklar, aynı periyotlu dalgalar üreten ve bu dalgaların başlangıç fazlarının aynı olduğu kaynaklardır. Bu durumda, dalgalar farklı şekillerde birbirleri ile karşılaşarak yapıcı veya yıkıcı girişim oluşturabilirler. Bu etkileşimlerin ayrıntıları şöyle açıklanabilir:

Yapıcı Girişim (Katar Noktaları):

- İki dalganın tepe noktaları veya çukur noktaları üst üste geldiğinde yapıcı girişim meydana gelir. Bu durumda, dalgaların genlikleri toplanır ve maksimum genlikli bir nokta oluşur. Bu tür yapıcı girişim noktalarına "katar noktaları" denir.
- Katar noktalarında dalgalar çift tepe veya çift çukur oluşturur, bu nedenle bu noktalar maksimum genlikli noktalardır

Yıkıcı Girişim (Düğüm Noktaları):

- Bir dalganın tepesi ile diğer dalganın çukuru üst üste geldiğinde yıkıcı girişim meydana gelir. Bu durumda, dalgaların genlikleri birbirini sönümlendirir ve minimum genlikli, hatta sıfır genlikli bir durum ortaya çıkar. Bu tür yıkıcı girişim noktalarına "düğüm noktaları" denir.
- Düğüm noktalarında dalgalar birbirlerini sönümler, dolayısıyla bu noktalar minimum genlikli veya hareketsiz dalga noktalarıdır.



Dalgaların tepe noktaları ———

Dalgaların tepe noktaları - - - - -

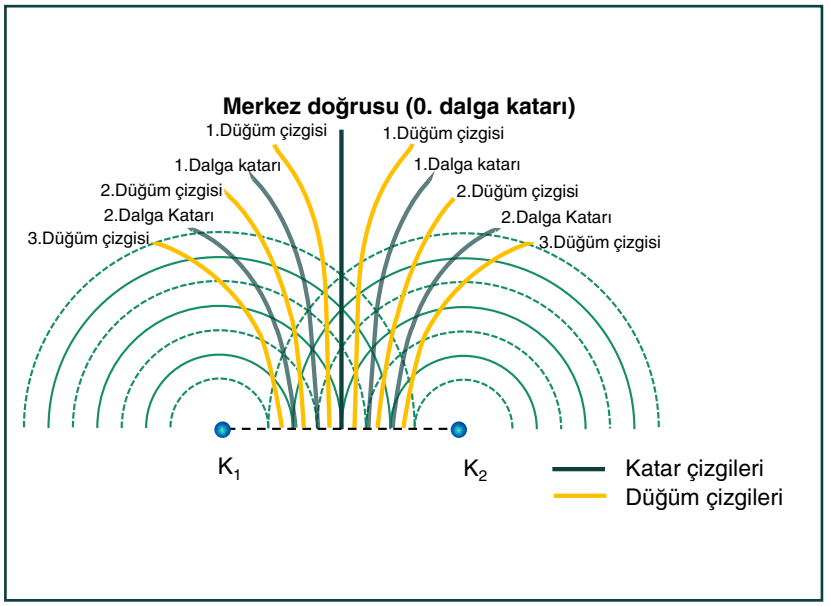
A noktası Çukur + Çukur = Çift çukur (Katar)

B noktası Tepe + Tepe = Çift Tepe (Katar)

C noktası Tepe + Çukur = Düğüm

K_1 ve K_2 noktasal kaynaklarının aynı fazda (yani aynı anda dalga üretmeye başlayan) oluşturduğu dalgaların girişim deseni incelendiğinde şu gözlemler yapılır:

- **A noktası:** İki dalganın çukur noktalarının karşılaştığı bu noktada, bu iki dalga birbirini güçlendirir. Bu, yapıcı girişim olarak adlandırılır ve dalga katarları üzerinde gerçekleşir. Bu noktada dalgaların genlikleri toplamı en yüksek olur.
- **B noktası:** İki dalganın tepe noktalarının karşılaştığı bu noktada da yapıcı girişim meydana gelir ve dalga katarı üzerinde olur. Aynı şekilde, dalgaların genlikleri toplamı en yüksek olur.
- **C noktası:** Bir dalga tepesi ile bir dalga çukurunun karşılaştığı bu noktada, dalgalar birbirini söndürür. Bu, yıkıcı girişim olarak adlandırılır ve düğüm çizgileri üzerinde gerçekleşir. Bu noktada net genlik sıfır olur.



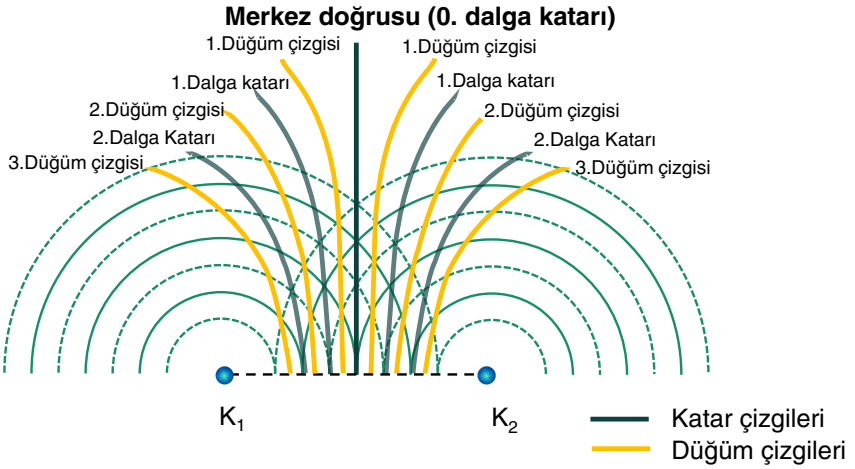
Katar Çizgisi (Yapıcı Girişim): Dalga tepelerinin veya çukurlarının üst üste gelmesiyle oluşan yüksek genlikli noktaların birleştirilmesiyle oluşur.

Düğüm Çizgisi (Yıkıcı Girişim): Dalga tepesi ile çukurunun üst üste gelmesi sonucu oluşan sıfır genlikli noktaların birleştirilmesiyle oluşur.

Konumlar: Katar ve düğüm çizgileri, iki dalga kaynağı arasında, kaynakları birleştiren doğrunun ortasında simetrik olarak dizilir. Kaynakların üzerinde veya dışında oluşmaz.

Katar Noktaları: Hareketli veya titreşimli noktalardır.

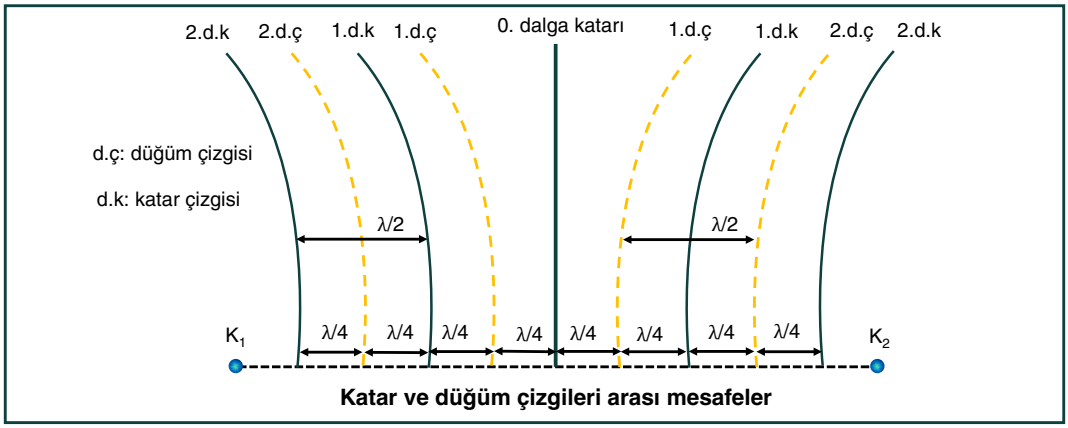
Düğüm Noktaları: Hareketsiz veya titreşimsiz noktalardır.



Girişim deseni ve merkez doğrusu

Aynı fazda çalışan kaynaklardan çıkan dalgalar, kaynaklar arası uzaklığın tam ortasında karşılaşarak maksimum genlikli bir bölge oluşturur. Bu bölgeye "merkez doğrusu" veya "0. dalga katarı" denir. Bu, dalgaların yapıcı girişim yaparak en büyük genliğe ulaştığı noktadır.

Merkez doğrusunun her iki yanında, merkez doğrusuna simetrik olarak dizilmiş çizgiler bulunur. Bu çizgiler, girişim desenlerinde dalga katarlarını ve düğüm çizgilerini temsil eder. Her iki tarafta bulunmaları nedeniyle düğüm çizgilerinin sayısı her zaman çift sayı olur. Ancak, dalga katarlarının sayısı tek sayıda olacaktır çünkü merkez doğrusu (0. dalga katarı) da dahil edilir.



Katar ve düğüm çizgileri arası mesafeler

Bir periyotluk sürede (T) bir dalga tepesi ve bir dalga çukuru oluşur. Yani, bir dalganın tepe ve çukur noktaları T/2 sürede meydana gelir. Bir dalga T/2 sürede dalga boyunun yarısı (λ/2) kadar yol alır. Bu nedenle, dalga katar çizgileri veya düğüm çizgileri arasındaki mesafe, kaynakların ürettiği dalgaların dalga boyunun yarısı (λ/2) kadar olmalıdır.

Kaynakları birleştiren doğru üzerinde bir dalga katarı ile bir düğüm çizgisi arasındaki mesafe ise λ/4 olur.

Dalgaların girişim desenlerini incelerken, belirli bir noktada yapıcı girişimin (yani, parlak katar çizgilerinin) oluşabilmesi için, o noktanın iki dalga kaynağından gelen dalgaların yol farkının dalga boyunun tam katı olması gerekir. Bu durumu matematiksel olarak ifade eden denklem şudur:

$$\Delta d = n \cdot \lambda$$

- Δd: iki kaynak arasındaki yol farkıdır.
- n: katar çizgisinin sırasını (n = 0, 1, 2, 3, ...) gösterir.
- λ: dalga boyudur.

Dalga girişim deseninde, belirli bir noktada yıkıcı girişimin (yani, düğüm çizgilerinin) oluşabilmesi için, o noktanın iki dalga kaynağından gelen dalgaların yol farkının dalga boyunun yarım katı olması gerekir. Bu durumu matematiksel olarak ifade eden denklem şudur:

$$\Delta d = (n - \frac{1}{2}) \cdot \lambda$$

- Δd: iki kaynak arasındaki yol farkıdır.
- n: düğüm çizgisinin sırasını (n = 1, 2, 3, ...) gösterir.
- λ: dalga boyudur.

KRİTİK BİLGİ

Çizgiler arası mesafe λ/4 olduğuna göre, dalga boyunun büyümesi çizgiler arası mesafeyi artırır.

Dalga boyunun artması, girişim deseninde gözlenen çizgi sayısını azaltır.

Tüm çizgiler kaynaklar arasında gözlemlenir.

Kaynakların birbirine yakın olması, diğer koşullar sabit tutulduğunda, simetrik katar ve düğüm çizgisi sayısını azaltır.

Bir noktanın kaçıncı dalga katarı veya düğüm çizgisi üzerinde olduğunu anlamak için, o noktanın kaynaklara olan uzaklıklarının farkına (yol farkı) bakılır.

Bilinen bir çizgi üzerindeki tüm noktaların kaynaklara olan uzaklıkları farkı eşittir.

Eğer kaynağın ürettiği dalgaların dalga boyu λ ise, 2. katar çizgisi üzerindeki tüm noktaların yol farkı 2λ'dir

Noktanın kaynaklara olan yol farkı dalga boyunun tam katları (0, λ, 2λ, 3λ, ...) ise o nokta bir dalga katarı üzerinde yer alır.

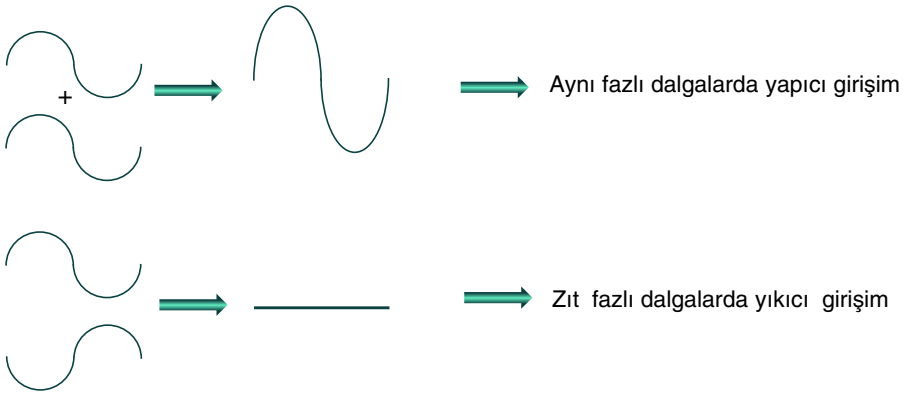
Yol farkı dalga boyunun yarım katları (λ/2, 3λ/2, 5λ/2, ...) ise o nokta bir düğüm çizgisi üzerindedir.

Merkez doğrusunda yer alan tüm noktaların kaynaklara olan uzaklıklarının farkı sıfırdır.

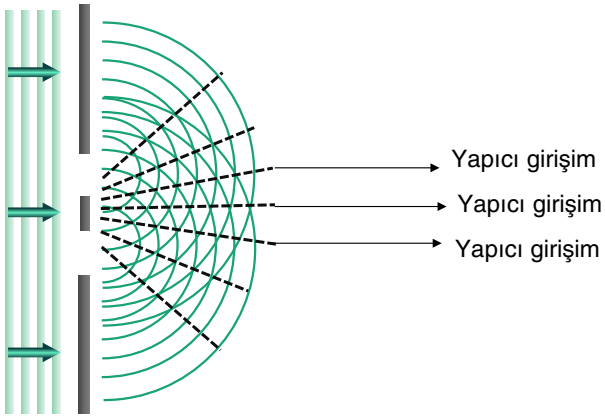
IŞIĞIN ÇİFT YARIKTA GİRİŞİMİ

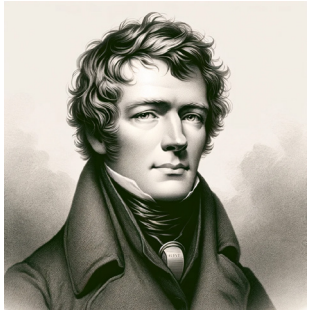
Işığın bazı olayların açıklanmasında tanecik olarak ele alınması yetersiz kalabilir ve bu durumlarda ışığın dalga özellikleri ön plana çıkar.

Işık dalgaları birbiriyle etkileşime girerek yapıcı (dalga tepeleri üst üste gelerek genliği artırır) veya yıkıcı (dalga tepeleri ve çukurları üst üste gelerek genliği azaltır) girişim yapar. Bu özellik, Young'ın çift yarık deneyinde gözlemlenir.

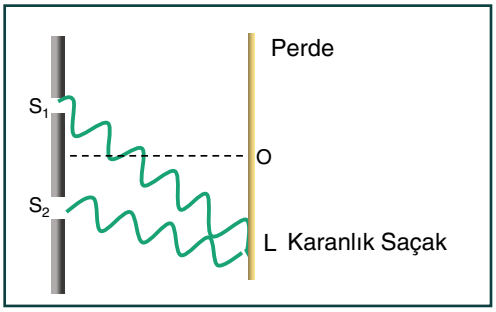


Işık dalgalarının girişim desenini net bir şekilde gözlemlemek için tek renkli ve eş fazlı kaynaklar kullanılmalıdır. İki ışık kaynağı yerine, iki küçük yarığı olan bir levha ile tek renkli bir ışık kaynağını kullanmak, daha net bir girişim deseni sağlar. Bu yöntemde, kaynaktan gelen ışıkta oluşabilecek gecikmeler her iki demeti de aynı şekilde etkilediğinden girişim olayı engellenmez.

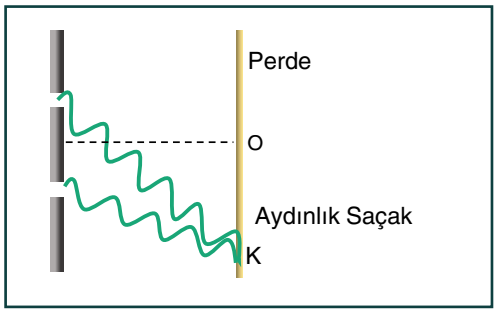



Thomas Young

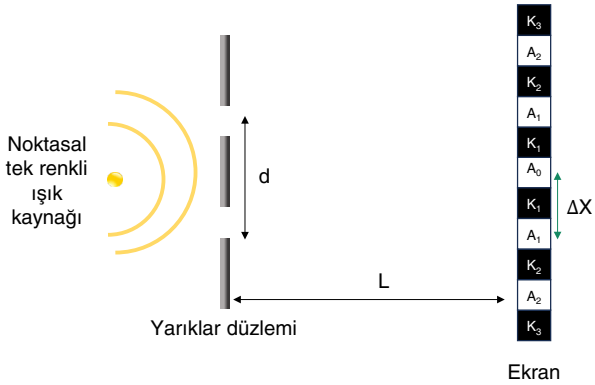
Işıkta girişim deneyi, ilk kez 1801 yılında Thomas Young tarafından gerçekleştirilmiştir ve bu nedenle Young deneyi olarak da bilinir. Bu deneyde, ışık yarıklardan geçerek perdede karanlık ve aydınlık bantlar oluşturur. Çift yarık deneyinde yarıklar, ışık kaynağı gibi davranarak perde üzerinde girişim deseni meydana getirir. Işık dalgalarının tepe noktaları üst üste geldiğinde aydınlık saçak, dalgalar birbirini söndürdüğünde ise karanlık saçak oluşur.



Dalgaların birbirini söndürmesi sonucu L noktasında oluşan karanlık saçak

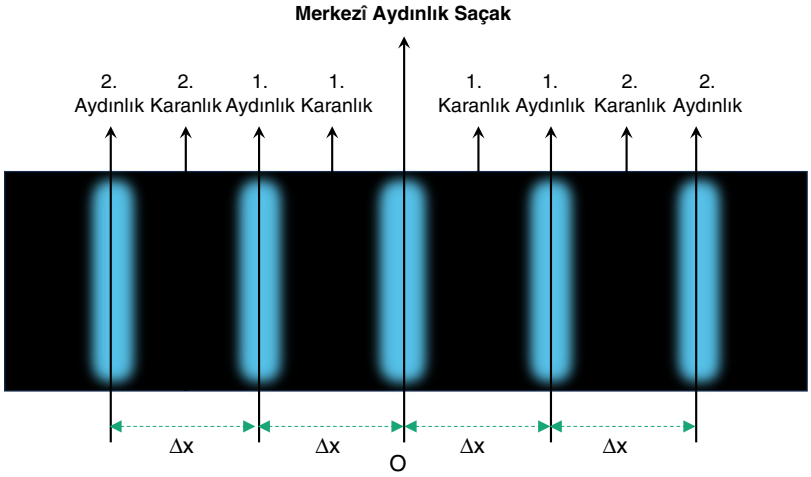


Dalgaların tepe noktalarının üst üste binmesi sonucu K noktasında oluşan aydınlık saçak

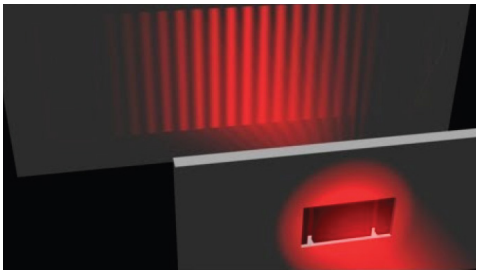


Çift yarık deneyinde ışık tanecik gibi davransaydı oluşacak desen

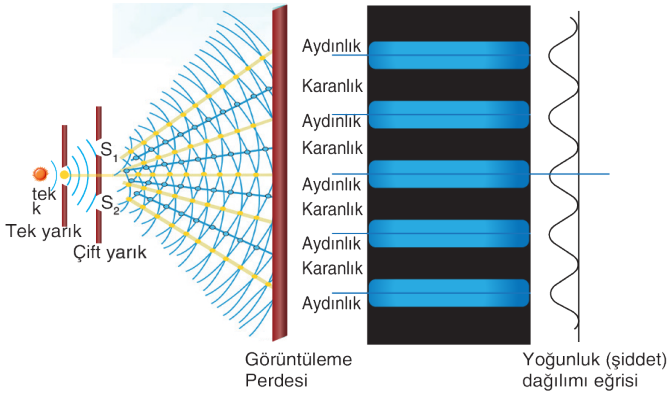
Çift yarıkta girişim deneyi, ışığın dalga özelliğini gösteren önemli bir delilidir . Eğer ışık tanecik gibi davransaydı, yarıklardan geçtikten sonra ekran üzerinde iki ayrı iz bırakırdı. Ancak, ışık dalga gibi davrandığında, yarıklardan geçen dalgalar birbirleriyle girişim yaparak aydınlık ve karanlık saçaklar oluşturur.



Işığın çift yarıkta girişimi sonucunda perdede, merkezde O noktası olan ve simetrik olarak dizilmiş aydınlık ve karanlık saçaklardan oluşan bir desen meydana gelir. Komşu iki aydınlık ya da karanlık saçağın orta noktaları arasındaki uzaklığa saçak aralığı (Δx) denir. Merkezî aydınlık saçağın genişliği, diğer aydınlık saçakların genişliğine eşittir.



Kırmızı lazerle yapılan bir çift yarıkta girişim deneyinde perdede ortaya çıkan saçaklar



Çift yarıkla yapılan girişim deneyinde ışık dalga özelliği gösterir. Bu nedenle, ekranın tam ortasında merkezî aydınlık saçak oluşur. Bu saçak, yarıklardan çıkan dalgaların yapıcı girişimi sonucunda oluşur.

Saçak aralıkları

Saçak aralığı (Δx) aşağıdaki bağıntıyla bulunur.

$$\Delta X = \frac{L \cdot \lambda}{d \cdot n}$$

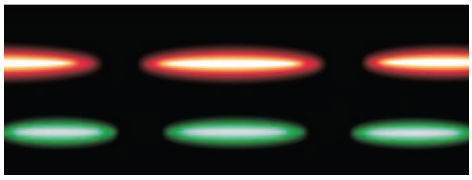
λ: ışığın dalga boyu,

L: perde ile ekran arasındaki uzaklık,

d: yarıklar arası mesafe,

n: perde ile yarıklar düzlemi arasındaki ortamın kırılma indisi.

Bağıntıda görüldüğü gibi, kırılma indisi n arttıkça saçak genişliği Δx azalır.

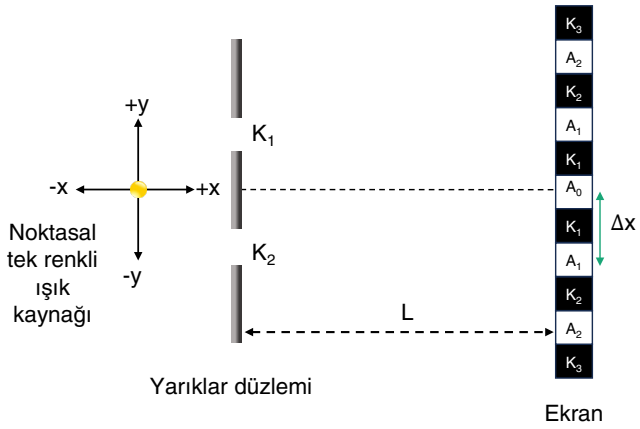


Young deneyinde kırmızı ve yeşil renkli saçakların karşılaştırılması

Kırılma indisi n arttıkça saçak genişliği Δx azalır. Yani, ortamın kırma indisi arttığında saçak genişliği küçülür. Bu, kırılma indisinin artmasının ışığın dalga boyunu azaltmasından kaynaklanır. Çift yarıkta girişim deneyinde Kırmızı ışık ve yeşil ışık ayrı ayrı kullanılarak deney yapıldığında kırmızı ışığın dalga boyu yeşil ışığa göre daha büyüktür ve bu da kırmızı ışık kullanıldığında daha geniş saçaklar elde edilmesine neden olur.

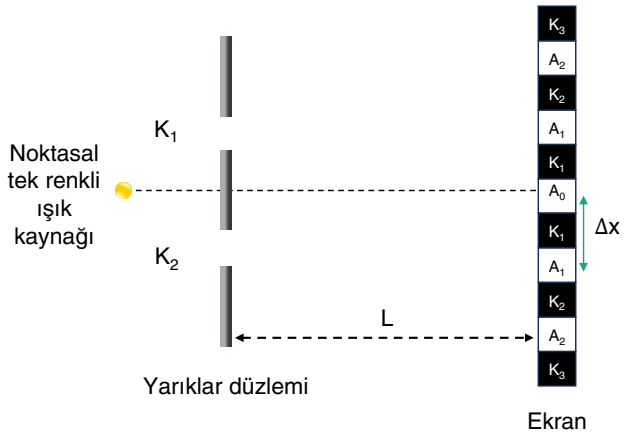
Young Deneyinde Özel Durumlar

1.



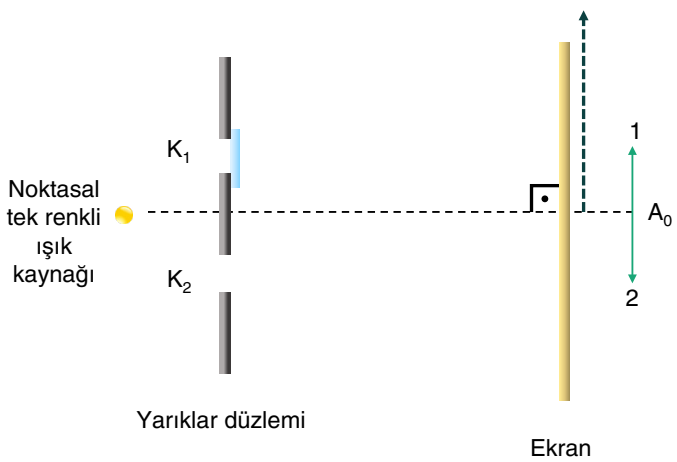
- Işık kaynağı x doğrultusunda hareket ettirilirse, saçak aralıkları ve saçakların yerleri değişmez.
- Kaynak +x yönünde hareket ettirilirse, aydınlık saçaklar daha parlak olur.
- Kaynak -x yönünde hareket ettirilirse, aydınlık saçaklar daha az parlak olur.
- Işık kaynağı y doğrultusunda hareket ettirilirse, yarıklar arasında faz farkı oluşur çünkü ışık yarıklara farklı sürelerde ulaşır.
- Kaynak +y yönünde hareket ettirilirse, ışık K_2 yarığına daha geç ulaşır ve girişim deseni aşağı kayar.
- Kaynak -y yönünde hareket ettirilirse, ışık K_1 yarığına daha geç ulaşır ve girişim deseni yukarı kayar.

2.

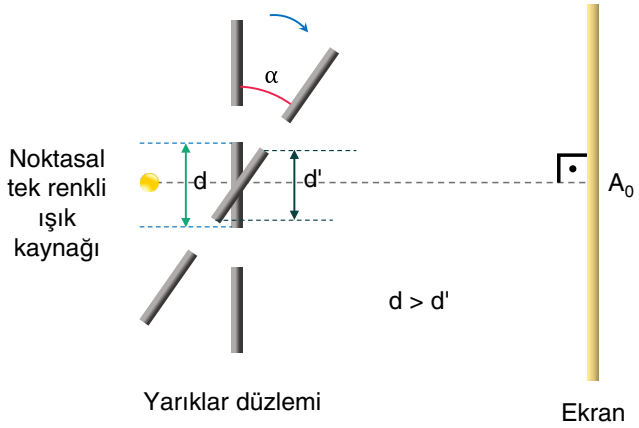


- Perde ile yarıklar düzlemi arasındaki ortamın kırıcılık indisi artırıldığında, ışığın dalga boyu azalır. Bu durum, girişim deseninde saçak aralığının (Δx) azalmasına neden olur. Sonuç olarak, saçaklar birbirine yaklaşır ve perde üzerinde daha fazla saçak gözlemlenir.
- Yarıklar düzlemi ile perde arasındaki mesafe (L) artırıldığında, saçak aralığı (Δx) da artar. Bu durum, perdedeki saçak sayısının azalmasına neden olur.

3.



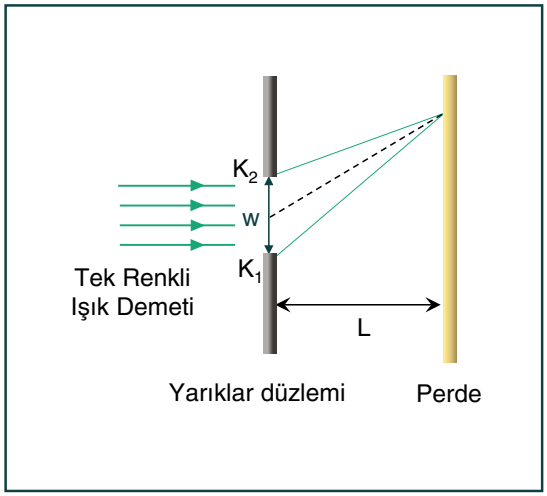
Yarıklardan birinin önüne saydam bir engel konulduğunda, engel içinde ışığın ortalama hızı azalacağından engel konulan tarafta gecikme meydana gelir. Bu gecikme, merkezî aydınlık saçakların geciken kaynak tarafına kaymasına neden olur. Örneğin, K_1 yarığının önüne bir cam levha konulduğunda, ışık cam içinde daha yavaş ilerleyeceği için merkezî aydınlık saçak 1 yönüne doğru kayar.



Yarıklar düzleminin dönmesi durumunda, yarıklar arasındaki d uzaklığının düşey bileşeni azalır. Bu azalma, saçak aralığının (Δx) artmasına neden olur. Sonuç olarak, perdedeki saçak sayısı azalır.

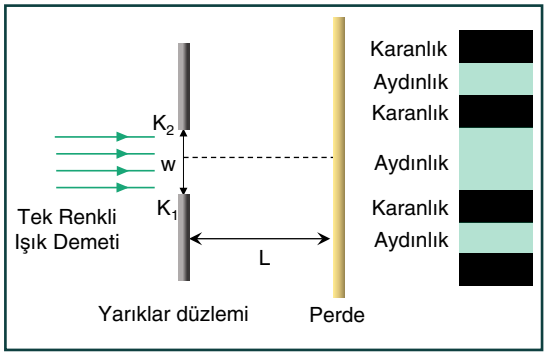
IŞIĞIN TEK YARIKTA KIRINIMI

Işığın Tek Yarıkta Kırınımına Etki Eden Değişkenler



Işığın tek yarıkta kırınımı

Işık dalgaları, bir engelin köşesinden geçerken veya dar bir yarıktan geçerken kırınıma uğrar. Bu olay, dalgaların bükülmesi olarak tanımlanabilir. Işığın bu özelliği, ışığın dalga doğasının bir sonucudur. Tek renkli ışığın bir yarıktan geçtikten sonra belirli bir noktada toplanması, ışığın kırınımının ve girişiminin bir sonucudur. Bu şekilde, yarık boyunca ilerleyen ışık dalgaları birbirleriyle girişim yaparak belirli noktalarda yoğunlaşır. Kırınım olayını anlamak için en yaygın kullanılan deneylerden biri tek yarık deneyidir. Bu deneyde, ışık kaynağından gelen ışık, tek bir dar yarıktan geçer ve bir ekrana düşer. Eğer yarık genişliği ışığın dalga boyu ile kıyaslanabilir büyüklükteyse, ekranda kırınım desenleri gözlemlenir. Bu desenler, merkezde parlak bir bölge ve her iki yanında giderek zayıflayan karanlık ve parlak bantlar şeklinde görülür. Ancak, yarık genişliği çok büyükse, kırınım desenleri belirgin olmaz ve ekranda yarığın tam karşısına gelen kısımda sadece bir parlak bölge gözlemlenir.



Tek yarıkta girişim olayında saçakların aralığı,

$$\Delta X = \frac{L \cdot \lambda}{w \cdot n}$$

formülüyle hesaplanır.

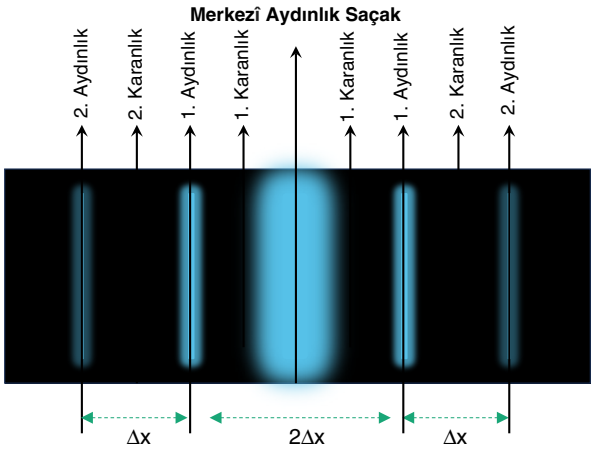
λ: ışığın dalga boyu,

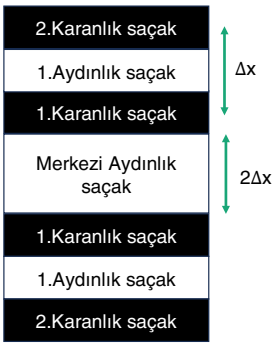
L: perde ile ekran arasındaki uzaklık,

w: yarık genişliği,

n: ortamın kırılma indisi.

- Ekran ile yarık arasındaki mesafe (L) arttıkça, saçak aralığı (Δx) artar.
- Işığın dalga boyu arttıkça, saçak aralığı da artar. Daha uzun dalga boylarına sahip ışık, daha büyük kırınım desenleri oluşturur.
- Yarık genişliği arttıkça, saçak aralığı azalır.
- Ortamın kırıcılık indisi arttıkça, saçak aralığı azalır. Yüksek kırıcı ortamlar, ışığın hızını ve dolayısıyla kırınım desenini etkiler. Örneğin, ortamın kırıcılık indisi arttığında, ışığın kırılması daha fazla olur ve bu da saçak aralığının (Δx) azalmasına yol açar.

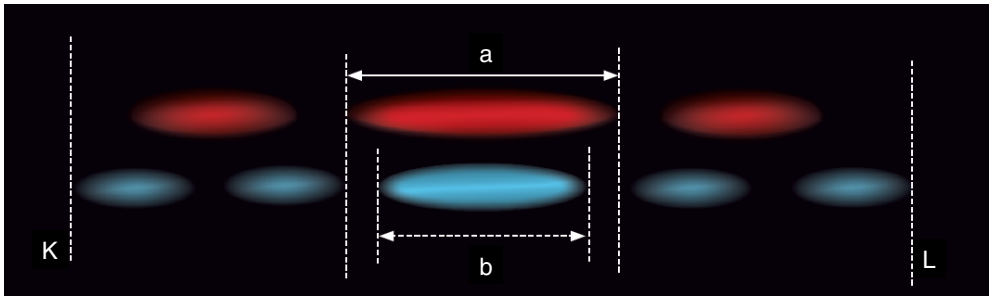




Tek yarıkta oluşan kırınım deseninde, merkezî aydınlık saçağın genişliği diğer aydınlık saçakların genişliğinin iki katıdır.

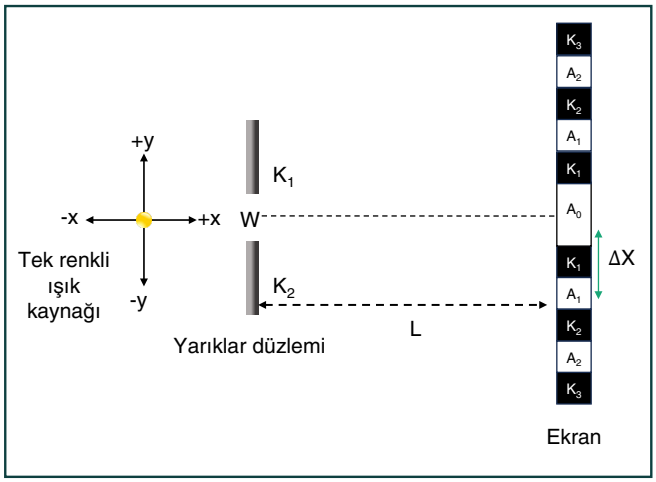
Merkezî saçak, diğer saçaklardan daha parlaktır. Bu, merkezde ışık dalgalarının faz farklarının çok küçük olması ve bu bölgede yapıcı girişimin maksimum düzeyde olması nedeniyle oluşur.

Dalga Boyunun Saçak Aralığına Etkisi

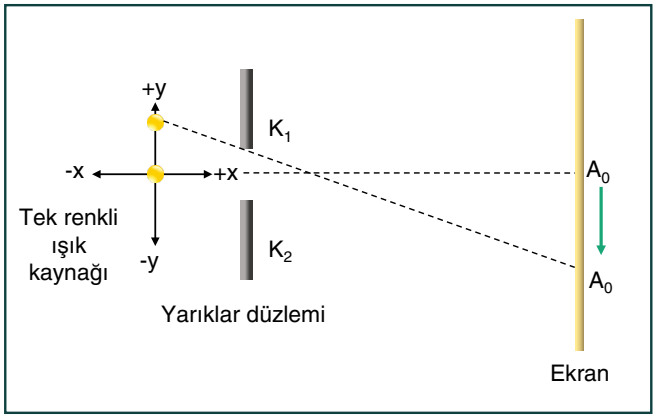


Tek yarıkta kırınım deneyinde kırmızı ve mavi ışık kullanılarak elde edilen desenler, ışığın dalga boyuna bağlı olarak farklı saçak aralıklarına sahiptir. Kırmızı ışığın dalga boyu, mavi ışığın dalga boyuna göre daha büyüktür. Bu nedenle, kırmızı ışıkta oluşan saçak aralıkları (Δx) daha geniş olur. Mavi ışıkta ise saçak aralıkları daha dardır. Her iki durumda da merkezdeki aydınlık saçak, diğer saçaklardan daha geniş ve parlaktır. Bu, tek yarıkta kırınımın karakteristik bir özelliğidir ve merkezî aydınlık saçak, kırınımın en yoğun olduğu noktadır.

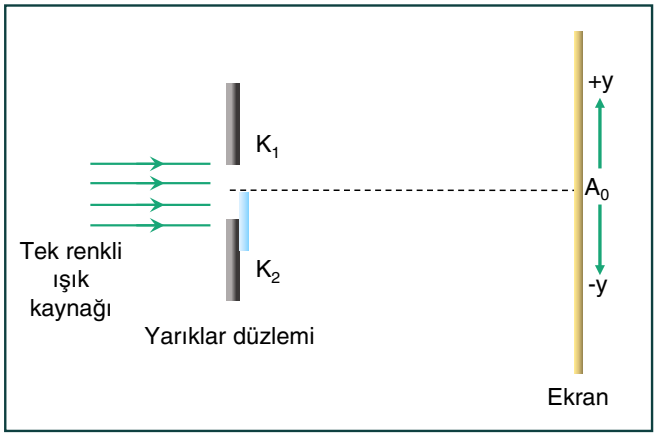
Kırınım Deseninde Merkezî Aydınlık Saçağın Yerini ve Saçak Aralığını Etkileyen Faktörler



- Tek yarık deneyinde, ışık kaynağı x doğrultusunda hareket ettirildiğinde saçak aralıkları değişmez.
- Işık kaynağı +x yönünde hareket ettirildiğinde, aydınlık saçakların parlaklıkları artar.
- Işık kaynağı -x yönünde hareket ettirildiğinde, aydınlık saçakların parlaklıkları azalır.
- Saçak aralıklarında herhangi bir değişim gözlemlenmez.

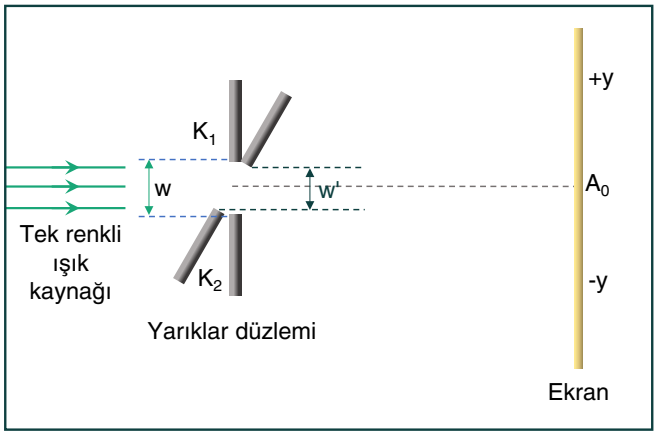


- Işık kaynağı +y yönünde hareket ettirildiğinde, merkezi aydınlık saçak (A_0) ortada değil, -y yönünde oluşur.
- Diğer saçaklar yine merkezi aydınlık saçağın (A_0) her iki yanına simetrik olarak dizilir.
- Saçak aralıklarında herhangi bir değişim gözlemlenmez.

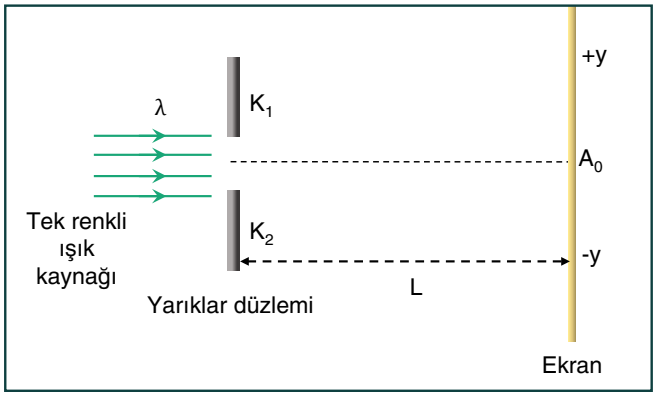


- Yarığın bir kısmına saydam engel konulursa, saydam engel ışığın ortalama hızının azalmasına neden olur.
- Işık, yarığın hangi kenarından daha geç çıkarsa merkezi aydınlık saçak o tarafa doğru kayar (bu durumda -y yönüne kayar).
- Saçak aralıklarında herhangi bir değişim gözlemlenmez.
- Eğer engel saydam değilse, ışık bu engelden geçemez ve bu durum merkezi aydınlık saçağın +y yönüne kaymasına neden olur. Ayrıca, yarığın genişliği azalacağı için saçak aralıkları artar.

Kırınım Deseninde Merkezî Aydınlık Saçağın Yerini ve Saçak Aralığını Etkileyen Faktörler



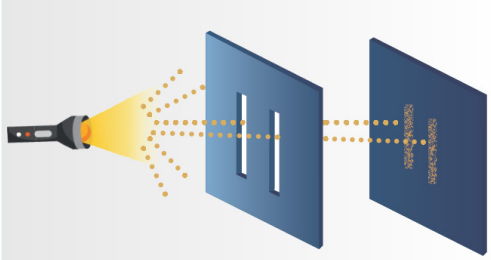
- Yarık düzlemi, şekilde gösterildiği gibi ok yönünde hafif bir açıyla döndürüldüğünde, yarıklar arasındaki dikey mesafe azalır ($w > w'$)
- Bu durum, saçak aralığını belirleyen Δx formülüne göre saçak aralığının artmasına neden olur.
- Yarık genişliği (w) artırıldığında, Δx formülüne göre saçak aralığı küçülür. Ancak, merkezi aydınlık saçağın yeri değişmez.



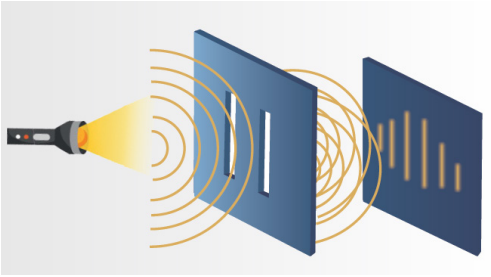
- Yarık düzlemi ile perde arasındaki mesafe (L) artırıldığında, Δx bağıntısına göre saçak aralığı genişler. Ancak merkezi aydınlık saçağın konumu sabit kalır.
- Kullanılan ışık kaynağının dalga boyu (λ) arttığında, Δx bağıntısına göre saçak aralığı genişler. Fakat merkezi aydınlık saçak yerini korur.

IŞIĞIN DALGA DOĞASI VE DOPPLER OLAYI

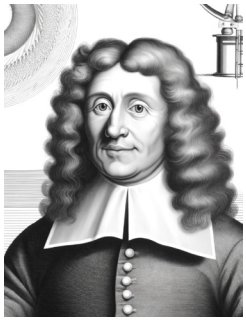
IŞIĞIN DALGA DOĞASI



Çift yarıkta girişim deneyi, ışığın dalga doğasını anlamamıza yardımcı olan klasik bir fizik deneyidir. Bu deneyde, tek renkli ışık kaynağı iki dar yarıktan geçirilir ve arka plandaki bir ekrana yansıtılır. Eğer ışık parçacıklar hâlinde yayılsaydı, ekranda sadece iki parlak çizgi görürdük, çünkü her yarıktan geçen ışık parçacıkları düz bir çizgide ilerlerdi.



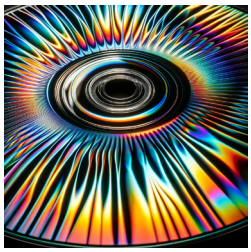
Ancak gerçekte perdede, iki parlak çizgi yerine bir dizi aydınlık ve karanlık saçaklar görürüz. Bu saçaklar, ışığın dalgalar hâlinde yayıldığını ve bu dalgaların birbirleriyle girişim yaptığını gösterir. Girişim, dalgaların üst üste binerek güçlenmesi veya birbirlerini zayıflatması olayıdır. Dalgaların tepe veya çukur noktalarının üst üste gelerek oluşturdukları daha parlak bölgeler, perdede görülen aydınlık saçaklardır. Karanlık saçaklar ise dalgaların tepe ve çukur noktalarının üst üste gelerek birbirlerini yok etmesiyle oluşur.



Christiaan Huygens

Işığın dalga doğasını ilk kez bilim dünyasına tanıtan kişi Christiaan Huygens'tir. Huygens, ışığın bir engelden veya köşeden geçerken bükülmesi (sapma) olayını gözlemlemiş ve bu durumun ışığın dalgalar hâlinde yayıldığını desteklediğini belirtmiştir. Sapma, dalgaların kenarlardan yayılarak engellerin arkasına geçmesi olayıdır ve bu da ancak dalga doğası ile açıklanabilir.

Ek olarak, iki ışık dalgasının birbirini yok edip karanlık saçaklar oluşturması, yalnızca ışığın dalga doğası ile açıklanabilir. Bu, dalgaların üst üste binerek birbirlerini güçlendirdiği veya zayıflattığı girişim olayının bir sonucudur.

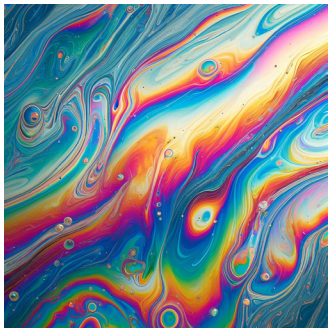


CD yüzeyinden yansıyan ışığın girişimi

Işığın dalga doğasının bir başka kanıtı, ışığın üst üste gelerek yüzeylerde renklenmelere sebep olmasıdır. Bu durum, farklı dalga boylarındaki ışıkların farklı açılarda girişim yapması sonucu oluşur. Örneğin, bir CD yüzeyinden yansıyan ışınların girişimi sonucunda CD yüzeyinde renklenmeler görülür. Bu renklenmeler, ışığın dalga hâlinde yayıldığını ve farklı dalga boylarının farklı açılarda girişim yaparak renkli desenler oluşturduğunu gösterir.

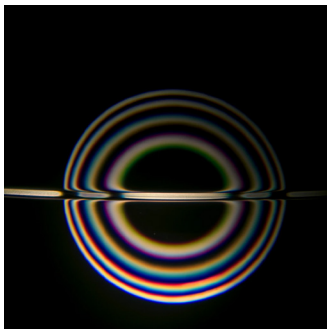
Sabun köpüklerinde görülen renkler

Sabun köpüklerinde görülen renkler de ışığın dalga doğasını ortaya koyar. Sabun köpüğünün ince tabakaları arasındaki ışık dalgaları, birbirleriyle girişim yapar ve bu girişim sonucunda çeşitli renkler oluşur. Bu renkler, ışığın farklı dalga boylarının birbirleriyle etkileşime girerek güçlenmesi veya zayıflaması sonucu ortaya çıkar.



Su üzerindeki yağ tabakası

Yağ birikintileri veya su birikintileri üzerinde görülen renkli desenler, girişiminin bir sonucudur. İnce bir yağ tabakası, ışık dalgalarının girişim yapmasına neden olur ve bu da çeşitli renklerin görülmesine yol açar. Bu renklenmeler, ışığın farklı dalga boylarının ve açılarının etkisiyle oluşur.



Newton halkaları

Newton halkaları olarak bilinen desenler de ışığın dalga doğasını gösterir. Bir düz cam plaka ile hafifçe kavisli bir cam yüzey arasına sıkışan ince hava tabakası, ışık dalgalarının girişim yapmasına neden olur. Bu girişim sonucunda, halkalar şeklinde renkli desenler görülür.

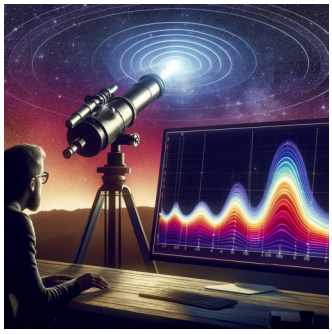
DOPPLER OLAYI

Doppler etkisi, kaynak ve gözlemci arasındaki uzaklığın değişmesiyle sabit frekanslı bir dalga kaynağından yayılan dalgaların gözlemlenen frekans ve dalga boyunun değişmesidir. Kaynak ve gözlemci arasındaki bağıl hız sıfırdan farklıysa bu değişim meydana gelir. Kaynak ve gözlemci arasındaki uzaklığın değişmesi sonucunda sabit frekanslı bir dalga kaynağından salınan dalgaların gözlemlenen frekans ve dalga boyundaki değişimlerine **Doppler etkisi** veya **Doppler olayı** denir.

Ambulans, A gözlemcisine doğru hareket ederken, ses dalgaları sıkışır ve bu da algılanan frekansın artmasına neden olur. Yüksek frekanslı sesler, daha tiz ve ince sesler olarak algılanır. Ambulans, A gözlemcisine yaklaştıkça siren sesi giderek daha ince duyulur. Ambulans B gözlemcisinden uzaklaşırken ise dalgalar genişler ve frekans düşer, bu da daha kalın sesler olarak algılanır.

Doppler etkisi, ses ve ışık dalgalarının frekansında, kaynağın ve gözlemcinin göreli hareketine bağlı olarak meydana gelen değişiklikleri ifade eder. Bu etki, tıp, denizcilik ve astronomi gibi birçok alanda önemli uygulamalara sahiptir.

Tıpta, Doppler ultrason cihazları, kan akışını ölçmek ve görüntülemek için kullanılır. Ses dalgaları, hareket eden kan hücrelerinden yansır ve geri döner. Kan hücrelerinin hareketi, yansıyan dalganın frekansında bir değişikliğe (Doppler kayması) neden olur.



Doppler olayı, astronomların yıldızların ve galaksilerin hareketlerini incelemelerine olanak tanır. Bu olay sayesinde, astronomlar:

- Yıldızların ve galaksilerin hızlarını ve yönlerini belirleyebilirler.
- Evrenin genişleme hızını hesaplayabilirler.
- Uzak galaksilerin hareketlerini izleyerek evrenin yapısını ve dinamiklerini anlayabilirler.

Astronomide, yıldızlar ve galaksiler gibi ışık kaynaklarının hareketlerini incelemek için Doppler olayı kullanılır. Işık kaynağı olan yıldızların frekansı sabittir. Ancak bu yıldızların Dünya'ya yaklaşması veya Dünya'dan uzaklaşması durumunda, yayılan ışığın frekansı ve dalga boyu, Dünya'daki gözlemci tarafından farklı algılanır.

1. Maviye Kayma: Dünya'ya yaklaşan bir yıldızın yaydığı ışınların algılanan dalga boyu azalır ve frekansı artar. Bu nedenle, bu ışınların Dünya'dan gözlemlenen rengi maviye doğru kayar. Maviye kayma, bir ışık kaynağının gözlemciye doğru hareket ettiğini gösterir.

1. Kırmızıya Kayma: Dünya'dan uzaklaşan bir yıldızın yaydığı ışınların algılanan dalga boyu artar ve frekansı azalır. Bu nedenle, bu ışınların Dünya'dan gözlemlenen rengi kırmızıya doğru kayar. Kırmızıya kayma, bir ışık kaynağının gözlemciden uzaklaştığını gösterir.

Trafikte araçların hızını tespit etmek için kullanılan radarlar, Doppler etkisinden yararlanarak çalışır. Doppler etkisi, hareket eden bir nesnenin yaydığı dalgaların frekansında değişiklik olmasına neden olur.

Radar cihazı, elektromanyetik dalgaları bir araca gönderir ve bu dalgalar araçtan yansır. Yansıyan dalgaların frekansındaki değişim, aracın hızı hakkında bilgi sağlar. Eğer araç radara doğru hareket ediyorsa yansıyan dalgaların frekansı artar; araç radardan uzaklaşıyorsa frekans düşer. Bu frekans değişikliği, Doppler kayması olarak adlandırılır ve bu değişim ölçülerek aracın hızı belirlenir. Bu prensip, ses dalgalarının yankı prensibi ile benzerlik gösterir çünkü her iki durumda da dalgaların yansıması ve geri dönüşü ölçülür.

Deniz altının haritalanmasında sonar teknolojisi kritik bir rol oynar. Bir gemi veya denizaltı, sonar sistemi aracılığıyla deniz tabanına ses dalgaları gönderir. Bu ses dalgaları, su altındaki nesnelere çarparak yansır ve geri döner. Sonar alıcısı, yansıyan ses dalgalarını toplar ve analiz eder.

Yansıyan ses dalgalarının geri dönüş süresi ölçülerek deniz tabanının derinliği hesaplanır. Aynı zamanda, Doppler kayması analiz edilerek su altındaki nesnelerin konumu, hızı ve yönü belirlenir. Bu veriler, deniz tabanının ayrıntılı haritalarının oluşturulmasında kullanılır. Bu haritalar, deniz altı yapıları, batıklar ve diğer önemli özelliklerin belirlenmesine yardımcı olur.

Sonuç olarak, Doppler kayması, deniz altı haritalarının daha doğru ve detaylı bir şekilde oluşturulmasını sağlar. Bu teknoloji, hem deniz tabanının yapısını hem de su altındaki hareketli nesneleri tespit etmek için hayati öneme sahiptir.

ELEKTROMANYETİK DALGALAR

EVRENİN ANLAŞILMASINDA TELESKOPLARIN ROLÜ

Teleskoplar, evrenin keşfi ve anlaşılmasında kritik bir rol oynamaktadır. Elektromanyetik dalgalar ve bu dalgaları algılayan teknolojik aletler sayesinde, insanlık evren hakkında derinlemesine bilgi edinmiştir.

1. Görünür Işık ve İlk Teleskoplar

İlk teleskoplar

Birkaç yüzyıl önce, gökyüzüne bakan insanlar yalnızca gözle görülebilen ışıkla sınırlıydı. Bu dönemde Dünya'ya kurulan teleskoplar, gökcisimlerinden gelen zayıf görünür ışığı güçlendirerek görüntülerin büyütülmesini ve çıplak gözle fark edilemeyen detayların ortaya çıkarılmasını sağladı.

2. Elektromanyetik Spektrumun Keşfi

19. yüzyılın ikinci yarısından itibaren, gökcisimlerinden yayılan ve Dünya'nın atmosferinden geçemeyen, insan gözünün algılayamadığı ışınların incelenmesine yönelik çalışmalar hız kazandı. Bu dönemde farklı dalga boylarındaki ışınları yakalayabilen teleskoplar geliştirildi ve uzaya yerleştirildi:

Morötesi Işın Teleskopları: Güneş'in korona tabakasından ve yeni oluşan yıldızlardan yayılan morötesi ışınları tespit etti.

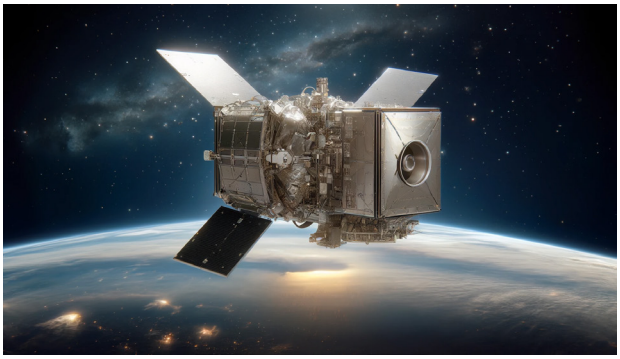
X Işını Teleskopları: Yengeç Bulutsusu'ndan yayılan X ışınları ve Güneş patlamaları gibi yüksek enerjili olayları gözlemledi.

Gama Işını Teleskopları: Güneş ve süpernova patlamalarından yayılan gama ışınlarını yakaladı.

James Webb Uzay Teleskobu

Hubble Uzay Teleskobu

Chandra X-ışını teleskobu



Fermi Gamma-ray Space Teleskobu

Elektromanyetik Dalgaların Özellikleri

Elektromanyetik dalgalar, günlük yaşamın birçok alanında kullanılarak vazgeçilmez bir unsur haline gelmiştir. Cep telefonları, radyo, televizyon, kablosuz modemler, mikrodalga fırınlar gibi birçok teknolojik cihaz, elektromanyetik dalgalardan yararlanır. Bu cihazların işlevlerini yerine getirmesi, elektromanyetik dalgaların özelliklerinden faydalanmaları sayesinde mümkün olur.

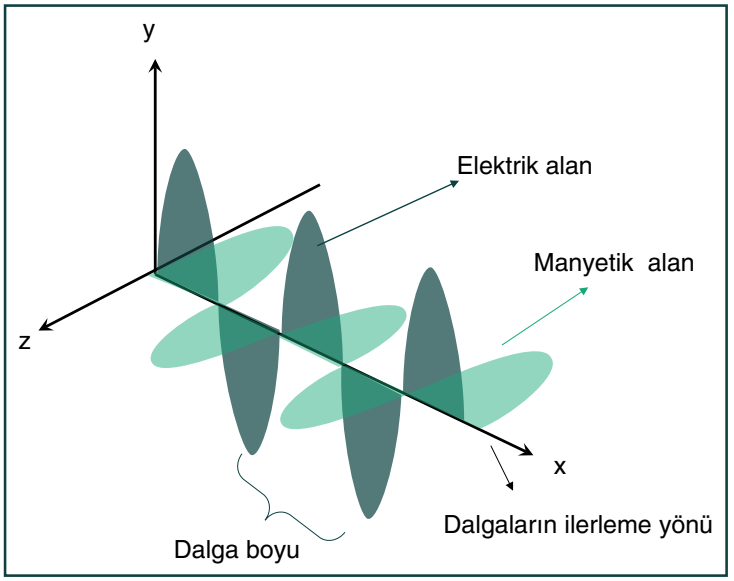
James Clerk Maxwell, elektromanyetik dalgaların varlığını matematiksel olarak ispatlayan ve ışık dalgalarının elektromanyetik dalga olduğunu ortaya koyan bilim insanıdır. Maxwell, zamanla değişen elektrik alanının çevresinde bir manyetik alan, zamanla değişen manyetik alanın çevresinde ise bir elektrik alanı oluştuğunu ileri sürerek elektromanyetik dalgaların varlığına işaret etmiştir. Elektromanyetik dalgalardaki elektrik ve manyetik alanın, elektromanyetik ışıma oluşturacak şekilde ışık hızıyla yayıldığını keşfetmiştir. Bu buluş, elektromanyetik teorinin temel taşlarından biri olarak kabul edilir ve modern fizik ile iletişim teknolojilerinin gelişimine büyük katkıda bulunmuştur.

Heinrich Hertz (temsili)

Heinrich Hertz, James Clerk Maxwell'in teorik çalışmalarını takip ederek elektrik yüklerini ivmelendirerek elektromanyetik dalgalar üretmeyi başardı. Hertz, bu deneyler sırasında elde ettiği dalgaların ışık dalgaları gibi girişim, kırınım, yansıma, kırılma ve polarizasyon özelliklerine sahip olduğunu gösterdi. Hertz'in ulaştığı bu sonuç, radyo frekans dalgalarının da ışık dalgalarına benzer özelliklere sahip olduğunu ortaya koyarak elektromanyetik dalgaların doğası hakkında önemli bir keşif oldu.

Hertz'in çalışmaları, elektromanyetik dalgaların pratik uygulamaları için kapılar açtı ve bu da daha sonra radyo, televizyon ve diğer kablosuz iletişim teknolojilerinin gelişimini sağladı. Hertz'in deneyleri, Maxwell'in teorilerinin deneysel doğrulamasını sağlayarak modern elektromanyetik teorinin temellerini güçlendirdi.

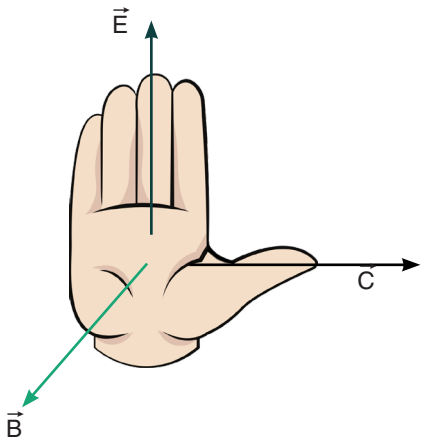
Heinrich Hertz'in deneylerinde kullandığı tarihi bilimsel enstrümanların ayrıntılı bir illüstrasyonu



Elektrik ve manyetik alanın hareket hâlinde birbirine dik konumları

Elektromanyetik dalgalar, değişen elektrik ve manyetik alanlardan oluşur. Bu alanlardan biri değiştiğinde, diğeri de değişir. Elektrik ve manyetik alanlar, birbirine ve dalganın yayılma yönüne dik olacak şekilde hareket eder. Elektrik alan (E) ve manyetik alan (B) vektörel büyüklüklerdir ve elektromanyetik ışıma, bu alanların ışık hızıyla (c) uzaya yayılmasıdır. Elektrik ve manyetik alanlar arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$E = B \cdot c$$

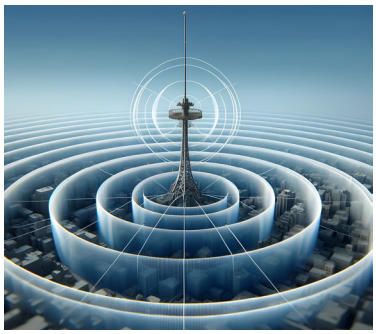


Elektromanyetik dalgaların ilerleme yönü sağ el kuralı ile bulunur. Bu kural şu şekilde uygulanır:

1. Sağ elin baş ve işaret parmağı birbirine dik olacak şekilde tutulur.
2. Dört parmak elektrik alan yönünü gösterir.
3. Avuç içi manyetik alan yönünü gösterir.
4. İşaret parmağı elektromanyetik dalgaların ilerleme yönünü gösterir.

ELEKTROMANYETİK DALGALARIN ORTAK ÖZELLİKLERİ

1. Yüklü cisimlerin ivmeli hareketlerinden meydana gelir:



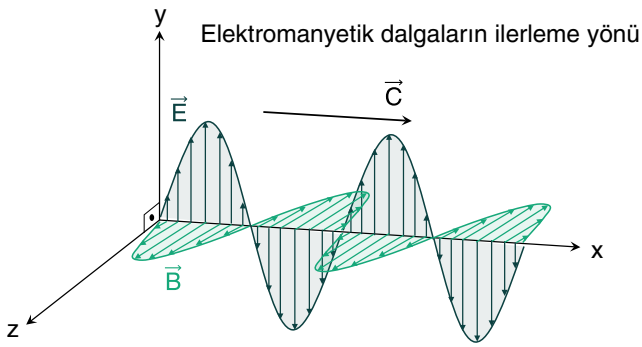
Elektromanyetik dalgalar, ivmeli hareket eden yüklü parçacıklardan yayılan dalgalardır. TV yayın anteninin üzerinde, ileri geri hareket eden yükler, elektromanyetik dalgalar oluşturur. Elektromanyetik dalgaların elektrik alan (E) ve manyetik alan (B) bileşenleri, birbirine ve dalganın yayılma yönüne diktir. Bu şekilde yayılan radyo dalgaları, TV sinyallerini ileterek geniş alanlara ulaşır ve televizyon cihazları tarafından alınarak görüntü ve ses sinyallerine dönüştürülür.

2. Elektromanyetik dalgalar, elektrik yükü taşımadıkları için elektrik ve manyetik alanlarda sapmazlar.

Mikrodalga fırın çalışırken oluşan güçlü elektrik ve manyetik alanların Wi-Fi sinyallerini etkilemediğini gösteren görsel

Fotonlar yüksüz parçacıklardır ve bu nedenle elektrik ve manyetik alanlar tarafından etkilenmezler. Bu durum, elektromanyetik dalgaların doğrusal bir yol boyunca kesintisiz bir şekilde yayılmasını sağlar. Örneğin Mikrodalga fırın gibi cihazlar çalışırken güçlü elektrik ve manyetik alanlar oluşturur. Ancak, Wi-Fi sinyaliniz bu cihazların oluşturduğu alanlardan etkilenmez ve internet bağlantınız kesilmez. Wi-Fi sinyalleri, elektromanyetik dalgalar olarak elektrik ve manyetik alanlardan sapmaz.

3. Elektromanyetik dalgalar enine dalgalardır ve birbirine dik olan elektrik ve manyetik alan bileşenlerinden oluşur.



Bu bileşenler aynı zamanda dalganın yayılma doğrultusuna da diktir.

4. Elektromanyetik dalgaların enerjisi, frekanslarıyla doğru orantılıdır.

Elektromanyetik dalganın, frekans arttıkça enerji de artar. Bununla birlikte, enerjileri dalga boylarıyla ters orantılıdır; dalga boyu küçüldükçe enerji artar. Aynı şekilde, elektromanyetik dalgaların momentumları da frekansla doğru orantılı ve dalga boyuyla ters orantılıdır. Yani, daha yüksek frekanslı veya daha kısa dalga boylu dalgalar daha fazla momentum taşır.

Örneğin X ışınları ve mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumun farklı bölgelerinde yer alır. X ışınları, çok kısa dalga boylarına (0.01-10 nanometre) ve yüksek frekanslara (30 PHz-30 EHz) sahiptir, bu da onların yüksek enerjili olmalarını sağlar ve tıbbi görüntüleme (röntgen cihazları) gibi alanlarda kullanılmalarına olanak tanır. Mikrodalgalar ise daha uzun dalga boylarına (1 mm-1 m) ve düşük frekanslara (300 MHz-300 GHz) sahiptir, daha düşük enerjiye sahiptirler ve su moleküllerini titreştirerek yiyecekleri ısıtmak için mikrodalga fırınlarda kullanılırlar. Bu kıyaslama, elektromanyetik dalgaların frekansı arttıkça enerjilerinin de arttığını gösterir.

5. Elektromanyetik dalgalar, boşlukta ışık hızı (c) ile yayılır.

Işığın uzayda ışık hızı ile yayılması

Elektromanyetik dalgaların, elektrik alan (E) ile manyetik alan (B) arasındaki oran, ışık hızına eşittir. Yani: $c = \frac{E}{B}$

Bu, elektromanyetik dalgaların elektrik ve manyetik alan bileşenlerinin birbirine dik olduğunu ve birlikte ışık hızında hareket ettiğini gösterir. Bu özellik, Maxwell denklemleri ile açıklanır ve tüm elektromanyetik dalgalar için geçerlidir.

6. Elektromanyetik dalgalar boşluk dışındaki ortamlardaki hızları ortamın kırıcılık indisine bağlıdır.

Işığın prizmada kırılması

Elektromanyetik dalgaların hızı (v), boşluktaki ışık hızı (c) ve ortamın kırıcılık indisi (n) ile belirlenir:

$$\vartheta = \frac{c}{n}$$

Kırıcılık indisi arttıkça dalganın hızı azalır.

7. Elektromanyetik dalgalar kutuplanabilir, yani elektrik alan vektörlerinin belirli bir düzlemde salınım yapma yönleri olabilir.

Polarize güneş gözlükleri

Polarizasyon, radyo dalgaları, mikrodalga iletişimi, optik fiberler ve polarize güneş gözlükleri gibi çeşitli uygulamalarda kullanılır.

8.Elektromanyetik dalgalar maddeler tarafından soğurulur.

Güneş panellerinin elektromanyetik dalgaları soğurması

Bu, dalganın enerjisinin madde tarafından alınarak başka enerji formlarına dönüşmesi demektir. Farklı malzemeler, farklı dalga boylarındaki elektromanyetik dalgaları farklı oranlarda soğurur.

ELEKTROMANYETİK DALGALARIN SPEKTRUMU

Elektromanyetik spektrum, farklı elektromanyetik dalgaların dalga boyu veya frekanslarına göre sıralanmasıyla oluşur. Bu spektrumda yer alan dalgalar, uzun dalga boyundan kısa dalga boyuna doğru şu şekilde sıralanır: radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar, görünür ışık, morötesi ışınlar, X ışınları ve gama ışınları.

Elektromanyetik spektrum

Radyo Dalgaları

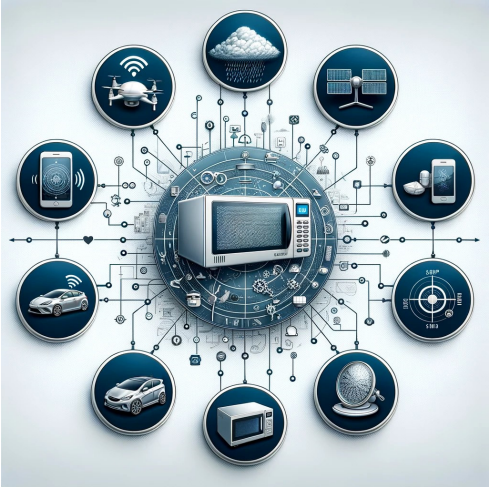
Radyo dalgalarının farklı kullanım alanları görseli

Radyo dalgaları, elektromanyetik spektrumun en uzun dalga boyuna ve en düşük enerjiye sahip olan, insan gözüyle görülmeyen elektromanyetik dalgalardır. Genellikle 3 Hz ile 300 GHz frekans aralığında bulunurlar ve birçok kullanım alanına sahiptirler:

- Haberleşme Sistemleri: Radyo ve televizyon yayınları, telsizler, cep telefonu iletişimi.
- Radyo Teleskopları: Gök cisimlerinden gelen radyo dalgalarını toplayarak astronomik araştırmalar yapar.
- GPS ve Uydu Haberleşmesi: GPS sistemleri ve uydu iletişimi.
- Askeri ve Denizcilik İletişimi: Askeri ve denizcilik haberleşmesinde kullanılır.

Radyo dalgaları, günlük yaşamda iletişimden bilimsel araştırmalara kadar geniş bir yelpazede kritik öneme sahiptir.

Mikrodalga



Mikrodalgalar, elektromanyetik spektrumda yer alan, dalga boyları milimetre ve santimetre arasında değişen dalgalardır. Yağmur, kar, sis ve kirli hava gibi engellerden geçebilirler.

Kullanım Alanları:

- İletişim: Cep telefonları ve kablosuz internet (Wi-Fi).
- Radar Sistemleri: Uçak, gemi ve araçların konum tespiti.
- Hava Tahminleri: Atmosferik koşulların ölçülmesi.
- Otonom Araçlar: Kendiliğinden park etme sistemleri.
- Mikrodalga Fırınlar: Yiyecek ısıtma.

Kızılötesi ışınlar

Termal Kamera

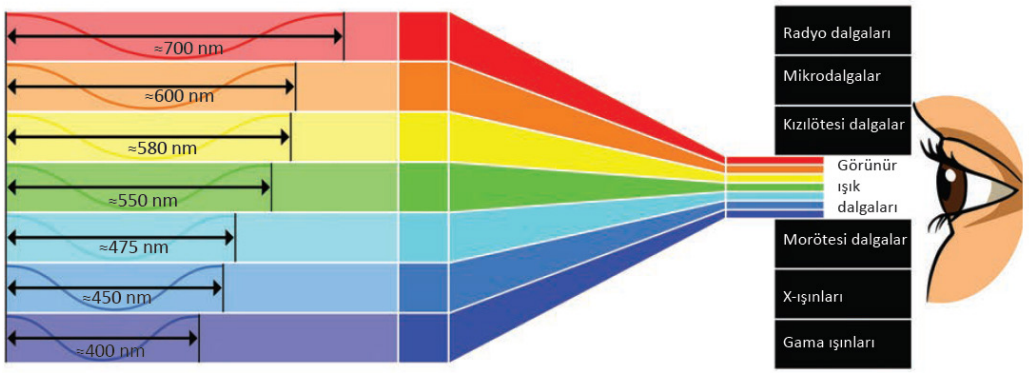
Kızılötesi ışınlar, elektromanyetik spektrumda görünür ışığın hemen ötesinde yer alan ve insan gözüyle görülmeyen ışınlardır. Dalga boyları, yaklaşık 700 nanometre (nm) ile 1 milimetre (mm) arasında değişir. Kızılötesi ışınlar, günlük yaşamda ve bilimsel araştırmalarda geniş bir kullanım alanına sahiptir.

Kullanım alanları:

1. Uzaktan Kumanda: TV ve elektronik cihazların kontrolü.
2. Termal Kameralar: Güvenlik, yangın tespiti, medikal termografi.
3. Sağlık: Fizyoterapi, diş çürüklerinin tespiti.
4. Gıda İşleme: Kalite kontrol, paketleme.
5. Isıtma Sistemleri: Enerji verimli kızılötesi ısıtıcılar.
6. Bilimsel ve Endüstriyel: Spektroskopi, üretim kontrolü.
7. Güvenlik ve Askeri: Gece görüş cihazları, sıcaklık takip sistemleri.
8. Kızılötesi ışınlar, kontrol, güvenlik, sağlık, gıda işleme ve ısıtma gibi çeşitli günlük uygulamalarda yaygın olarak kullanılır.

Görünür Işık Spektrumu

Görünür ışık spektrumu, farklı dalga boylarına sahip olan ve renk olarak algıladığımız ışık türlerinden oluşur. Spektrum, mor, mavi, yeşil, sarı, turuncu ve kırmızı renkleri içerir. Her renk, belirli bir dalga boyu aralığında yer alır:



Görünür ışık spektrumunda renklerin yaklaşık değerleri

Morötesi Işınlar

Güneş'teki patlamanın UV ışın ile gösterimi

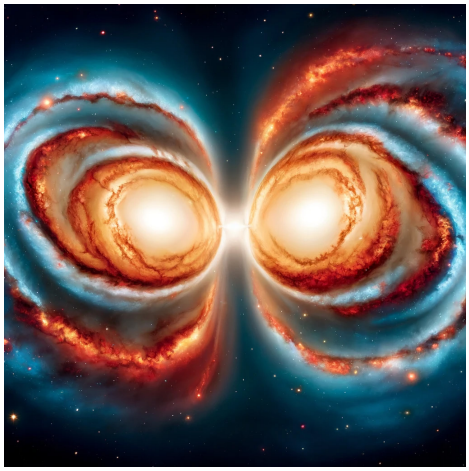
Ultraviyole (UV) ışınlar, gözle görülmeyen elektromanyetik radyasyon türüdür ve UVA, UVB, UVC olarak üçe ayrılır. Güneş'ten gelen UV ışınları cildi bronzlaştırır, ancak cilt kanseri riskini artırır ve ciltte erken yaşlanmaya yol açabilir. Ozon tabakası ve güneş kremleri, zararlı UV ışınlarının bir kısmını engeller. UV ışınları, kağıt para üzerindeki güvenlik unsurlarını belirginleştirir ve sterilizasyon amacıyla kullanılır. 5 Mayıs 2015'teki bir güneş patlaması UV dalga boyunda gözlemlenmiştir. UV ışınları, hem zararlı hem de yararlı etkileri nedeniyle korunma ve bilinçli kullanım gerektirir.

X-Işınları

Süpernovanın X-ışınları ile alınmış bir görüntüsü

X-ışınları, Wilhelm Conrad Röntgen tarafından keşfedilmiş ve "bilinemeyen ışın" anlamına gelen X-ray ismiyle adlandırılmıştır. Bu ışınlar, yüksek enerjileri sayesinde yumuşak dokulardan geçebilme yeteneğine sahiptir, ancak bu özellikleri aynı zamanda canlı dokulara zarar verebilme potansiyelini de beraberinde getirir. Hücreleri öldürüp kalıcı rahatsızlıklara neden olabilen X-ışınları, dikkatli kullanılmazsa ciddi sağlık sorunlarına yol açabilir.

Gama ışınları



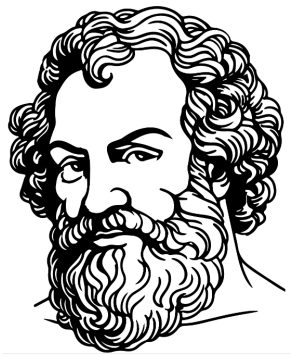
Samanyolu Galaksisinin merkezi çevresinde gama ışınları yayan Fermi Baloncukları

Gama ışınları, elektromanyetik spektrumun en enerjik bölümünde yer alır. Bu ışınlar, çok kısa dalga boylarına ve yüksek enerji seviyelerine sahiptir. Dalga boyları genellikle 0.01 nanometreden daha kısa olan gama ışınları, yüksek giricilik yetenekleri sayesinde maddelerin içine derinlemesine nüfuz edebilirler. Sağlık, gıda güvenliği ve uzay araştırmaları gibi alanlarda gama ışınları, insanlık için değerli bilgiler ve çözümler sunar.

ATOMUN TARİHSEL GELİŞİMİ VE BOHR ATOM TEORİSİ

ATOM KAVRAMININ TARİHSEL GELİŞİMİ

''Maddenin en küçük yapı taşı nedir?'' sorusu bilim tarihi boyunca merak edilmiştir.

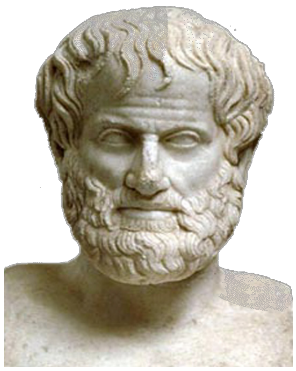


Democritus

M.Ö 440'lı yıllarda Democritus'a göre atom görülemez ve bölünemez bir parçacık olup bütün maddeler aynı tür atomlardan oluşmaktaydı. Maddeler arasındaki farklılık, farklı sayıdaki atomların bir araya gelmesiyle ve bu atomların dizilişlerindeki farklılıklardan kaynaklanıyordu.

Democritus bu parçacığa Yunancada bölünemeyen en küçük parçacık anlamına gelen atomos adını vermiştir.

Democritus'un atom hakkındaki görüşleri 1800'lü yıllara kadar varlığını sürdürmüştür.



Aristoteles

Aristoteles (Aristo)'e göre Dünya'daki her şey hava, su, ateş ve toprak olarak belirttiği dört elementin değişik oranlardaki kombinasyonlarından oluşuyordu.

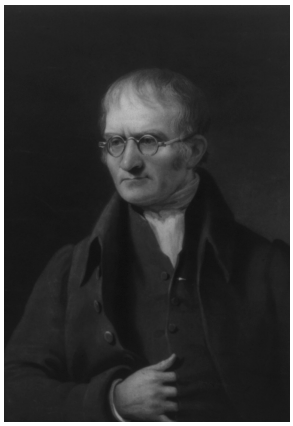
Aristo, bu elementlerin oluşturduğu maddenin sonsuza dek bölünebileceğine inanıyordu.

Cabir Bin Hayyan

Batılıların Geber olarak tanıdığı Fars kökenli Müslüman bilim insanı **Cabir Bin Hayyan** atom ile ilgili olarak **''Madde yoğun enerji olup Yunan bilim insanlarının parçalanamaz en küçük parça olarak tanımladıkları atom, parçalanabilir ve bu parçalanma sonucunda büyük bir enerji açığa çıkar. Bu enerji Bağdat gibi büyük bir kenti yok edebilecek büyüklüktedir.'** ifadelerini kullanmış ve batılı bilim insanlarından 1000 yıl kadar önce atomun parçalanabileceğini ve atomun yapısındaki nükleer enerjinin büyüklüğünü ifade etmiştir.

Bilim tarihinde atomla ilgili daha detaylı bilgiler 1800'lü yıllardan itibaren geliştirilmiş olan modeller, günümüzdeki atom modeline ulaşılmasının yolunu açmıştır.

ATOM MODELLERİ



John Dalton (1776-1844)

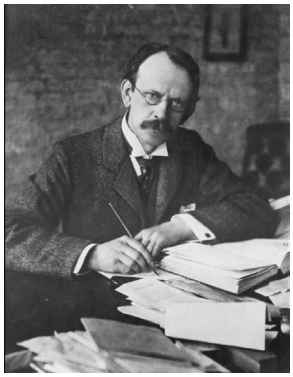
Dalton'un model olarak kullandığı tahta küreler

a) Dalton Atom Modeli

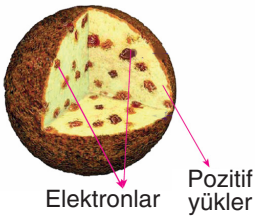
İngiliz bilim insanı John Dalton'ın 1805 yılında geliştirdiği modele göre; atom maddenin en küçük yapı taşıdır ve bölünemeyen berk (esnemeyen, kırılmayan, bükülmeyen), içi dolu kürelerden oluşmuştur. Dalton'un modeli genellikle "bilardo topu" modeli olarak adlandırılır. Çünkü atomları bilardo topları gibi katı, bölünemez kürelere benzetir.

- Elementler atom adı verilen son derece küçük ve bölünemeyen taneciklerden oluşur.
- Belli bir elementin bütün atomları birbirinin aynıdır. Ancak bir elementin atomları diğer elementlerin atomlarından farklıdır.
- Herhangi bir bileşikteki iki elementin atom sayılarının oranı bir tam sayı ya da basit tam sayılı bir kesirdir.
- Dalton, kimyasal reaksiyonlarda atomların oluşturulamayacağını veya yok edilemeyeceğini ve tepkimeye girenlerin toplam kütlesinin ürünlerin toplam kütlesine eşit olması gerektiğini öne sürmüş ve kütlenin korunumu yasasının temelini atmıştır.
- Dalton'un modelinde, aynı elementin atomları kütle ve özellik bakımından aynıyken, farklı elementlerin atomları farklı kütle ve özelliklere sahiptir.

Dalton'un atom modeli, protonlar, nötronlar ve elektronlar gibi atom altı parçacıkların varlığını hesaba katmamıştır. Atomları herhangi bir iç yapısı olmayan katı, bölünemez küreler olarak kabul etmiştir.



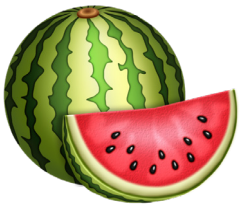
Joseph John Thamson (1856-1940)



b. Thamson Atom Modeli

Thamson 1897 yılında atomun yapısında elektron adı verilen (-) yüklü tanecikleri keşfederek katot ışınları ile yapılan bir çok deney sonucunda elektronun yükü (e) ve kütlesi (m) ile ilgili e/m oranını hesaplamıştır.

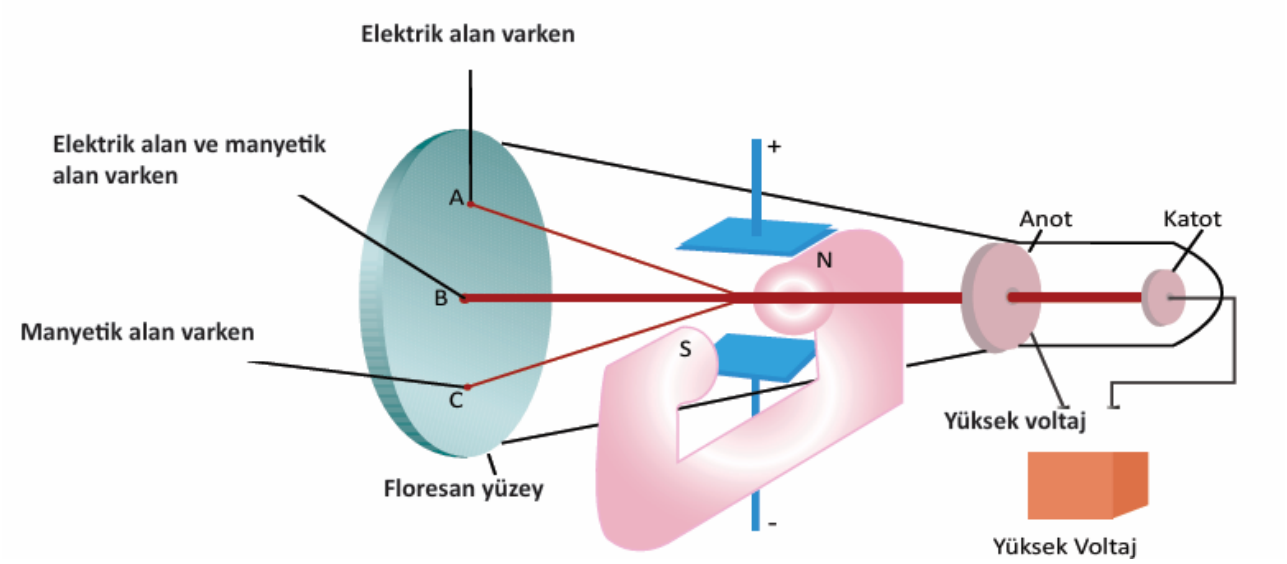
- Atomlar, yaklaşık çapı 10^{-10} m olan içi dolu, nötr kürelerdir.
- Thamson atomun yapısında hareketsiz bir şekilde duran pozitif (+) ve negatif (-) yüklerin homojen olarak dağıldığını ileri sürmüştür. Bu nedenle meydana getirdiği atom modelini üzümlü keke veya karpuza benzetmiştir. Thamson üzümleri elektronlara yani (-) yüklere, kekin hamur kısmını ise pozitif (+) yüklere benzetmiştir.
- Thamson'a göre atomlarda pozitif yüklere eşit sayıda negatif yük bulunur. Bundan dolayı atomlar yüksüzdür.
- Thamson'a göre elektronlar, pozitif (+) yüklerin yanında ihmal edilebilecek kadar küçük bir kütleye sahip olup atomun kütlesinin büyük bir kısmı pozitif (+) yüklerin kütlesinden oluşmuştur.



Thamson'a göre atom modelinin karpuza veya üzümlü keke benzemesi

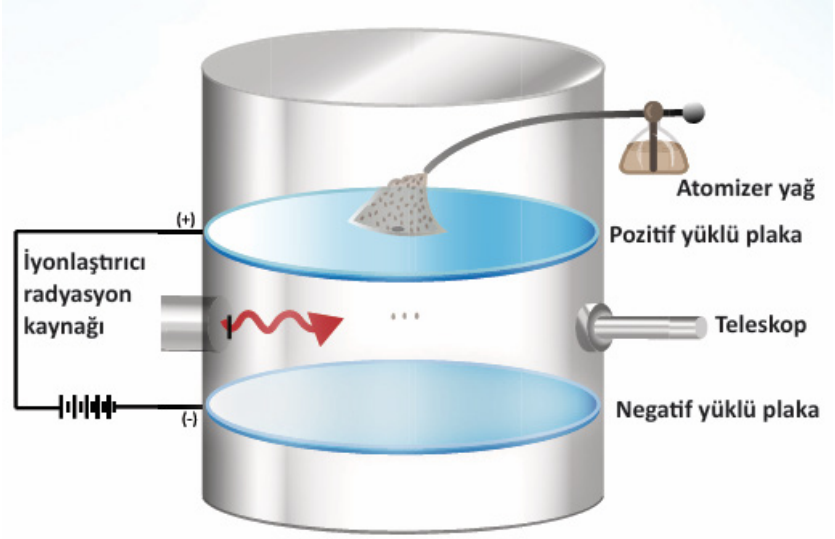
Thomson'ın e/m Deneyi (1897)

Thomson, katot tüpüne elektrik alan uyguladığında katot ışınlarının sapma yönünün yukarı, manyetik alan uyguladığında ışınların sapma yönünün aşağı olduğunu ve her ikisini eşit uyguladığında ışınların sapmadığını tespit etmiştir. Elektrik ve manyetik alanda ışınların sapmasını yükle tanımlamış, katot ışınlarının yüklü olduğunu yani elektronlardan oluştuğunu bulmuştur. Deneydeki veriler ışığında elektronun yükünün kütlesine (e/m) oranını ölçmeyi başarmış ve çalışmaları ile 1906 yılında Nobel Fizik Ödülü'nü almıştır. Thomson'ın elektronla ilgili buluşları ve başarılı deney sonuçları daha sonra bilim insanlarına örnek olmuştur. Robert Andrews Milikan (Rabırt Andrevs Milikan), Thomson'ın deney düzeneğine benzer bir deney gerçekleştirmiştir.



- Thamson'un katot ışınlarının sapmasını incelemek için kurduğu deney düzeneği -

Milikan'ın Yağ Damlası Deneyi (1909)



- Milikan'ın yağ damlası deneyi düzeneği -

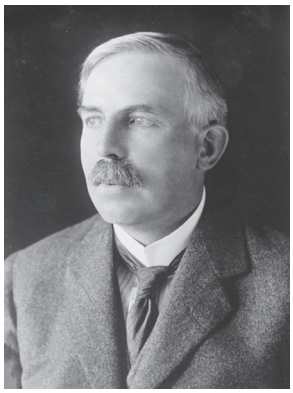
Milikan, elektronun yükünü bulmuş, Thomson'ın bulduğu e/m oranından yararlanıp elektronun kütlesini hesaplamayı başarmıştır.

Milikan yağ damlası deneyinde, kaba X-ışınları gönderilmiş ve iki metal elektrot arasına yüklü yağ damlacıkları püskürterek , yağ damlacıklarına etki eden kütle çekim ve elektriksel kuvvetlerin eşitliğinden yararlanarak yağ damlacıklarının yükünü bulmuştur.

Bu eşitlik, $F_e = G \Rightarrow q_e \cdot E = m \cdot g$ şeklindedir.

Bu eşitlikte yağ damlasının kütlesi (m), yer çekim ivmesi (g) ve uygulanan elektrik alanı (E) bilindiği için elektronun yükünü (q_e) hesaplamıştır.

Milikan, deneyi tekrarladığında yağ damlacıklarında oluşan elektron yükünün (q_e) bugün bilinen yaklaşık değerinin $1{,}6.10^{-19}$ sayısının katları olduğunu bulmuştur. Thomson'ın bulduğu e/m oranından faydalanıp eşitliği kullanarak elektronun kütlesini (m) hesaplamıştır.



Ernest Rutherford

(1871-1937)

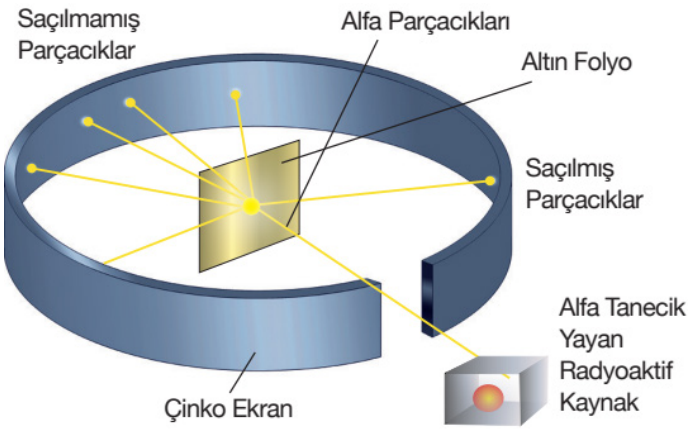
c. Rutherford atom Modeli

Ernest Rutherford öğrencileri olan Hans Gaiger ve Ernest Marsden ile birlikte 1911 yılında yüksek hızdaki (+) yüklü α parçacıkları ile yaptıkları deneyde atomun yapısını incelemeye çalışmışlardır.

Radyoaktif bir kaynaktan çıkan pozitif yüklü alfa ışınları çok ince altın levha üzerine gönderilmiştir. Işınların büyük bir kısmının altın levhadan geçtiği görülmüştür. Çok az ışının çeşitli açılarla saptığı bazı ışınların da aynı doğrultuda geri döndükleri gözlenmiştir.

•Işınların büyük kısmının karşı tarafa geçmesi, atomun boşluklu yapıda olduğunu göstermektedir. Gözlem sonuçlarından hareket eden Rutherford, çekirdekteki pozitif (+) yüklere proton ismini vermiştir.

Rutherford, elektronların enerji kaybederek çekirdeğe yaklaşması ve sürekli ışıma yapması gerektiğini öngörmüştü. Bu durumda elektronlar çekirdeğe düşmeliydi. Elektronların sabit frekansta ışıma yapması ve çekirdeğe düşmemesi atom teorisindeki eksiklikleri ortaya çıkarmıştır.



- Rutherford alfa (α) ışıması deney düzeneği -

• Rutherford'un ilk defa atom çekirdeğinden bahsetmesi çok önemli bir gelişmedir.

• Rutherford, elektronların pozitif yüklü çekirdeğin çevresinde dolanmasını gezegenlerin Güneş etrafındaki dönüşüne benzetmiştir.

• Rutherford atomun, kütlenin büyük bir kısmını oluşturan çekirdek ve bu çekirdek etrafında dolanan elektronlardan oluştuğunu göstermiştir.

• Rutherford atomun içinde çok büyük boşlukların olduğunu belirterek atom çekirdeğinde kütlesi pozitif yüklere eşit başka taneciklerinde olabileceğini söylemiştir. Rutherford'un söylediği başka tanecikler olan nötronlar 1932 yılında James Chadwick tarafından bulunmuştur.

Neils Bohr (1885-1962)

BOHR ATOM MODELİ

Rutherford atom teorisinde, elektronların çekirdek üzerine düşmeden hareket etmesi ve çekirdekte bulunan pozitif yüklerin dağılmadan durabilmesi tam olarak açıklanamamıştı. Rutherford'un atom teorisindeki bu gibi eksikleri fark eden Neils Bohr, Max Planck ve Einstein'ın teorilerinden yararlanarak atomik boyutta geçerli olacak yeni bir atom teorisi sundu.

Bohr, kendi atom teorisinde belirli yörüngelerden bahsetmiş, klasik fiziğin atomik boyutta yeterli olmadığını söylemiştir.

Bohr teorisinde atom yarıçapı, enerji seviyeleri, uyarılma, iyonlaşma ve ışıma kavramlarını açıklamış ve atom modeline kuantum kavramını katmıştır.

Klasik elektromanyetik teoriye göre Rutherford atom modelinde elektronlar çekirdek çevresinde dönerken sürekli ışıma yapmalıydı. Bohr, ışımaların sürekli olmadığını yörünge kavramını kullanarak anlatmıştır. Elektronların çekirdekten uzaklıklarını, açısal momentumlarını, enerjilerini yörüngeler kavramını kullanarak ifade etmiştir.

Bohr, atomun yapısını anlamak için tek proton ve tek elektronu bulunan hidrojeni seçmiştir. Çünkü elektriksel kuvvet sadece proton ve elektron arasında oluşacak ve kolaylık sağlayacaktı.

Bohr atom modelini üç varsayımla açıklamıştır.

1. Elektronlar, pozitif yüklü çekirdek çevresinde Coulomb kuvvetinin etkisiyle ışıma yapmadan kararlı yörüngelerde dolanır. Bu yörüngelerde dolanan elektronlar ışıma yapmadıklarından dolayı elektron veya atom enerji kaybetmez.

2. Kararlı seviyede dönen elektronların açısal momentumu $(L = m \cdot v \cdot r)$; $\frac{h}{2\pi}$ 'nin tam katlarına eşittir.

Buna göre; $L = m \cdot v \cdot r = n \cdot \frac{h}{2\pi}$ olur.

L : Açısal momentum

m : Elektronun kütlesi

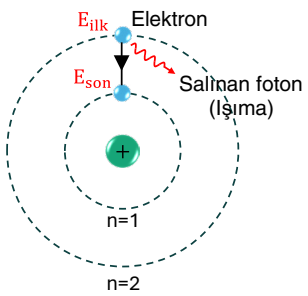
v : Elektronun hızı

r : Elektronun yörünge yarıçapı

n : Yörünge numarası olup tam sayıdır. (n = 1, 2, 3,…)

h : Planck sabiti ($h = 6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J•s)

3. Elektron yüksek enerjili kararlı bir yörüngeden, düşük enerjili kararlı bir yörüngeye kendiliğinden geçiş yapabilir. Elektron bu geçiş sırasında ışıma yaparak dışarıya foton salar. Dışarı yayılan fotonun enerjisi elektronun bulunduğu ilk ve son yörüngelerdeki enerjileri farkı kadardır.



Üst yörüngeden alt yörüngeye geçen elektron foton yayınlar.

Salınan fotonun enerjisi $E_{foton} = E_{ilk} - E_{son} = h \cdot f = \frac{h \cdot c}{\lambda}$ bağıntısıyla bulunur.

E_{ilk} : Elektronun bulunduğu ilk yörüngedeki enerjisi

E_{son} : Elektronun bulunduğu son yörüngedeki enerjisi

f : Yayılan fotonun frekansı

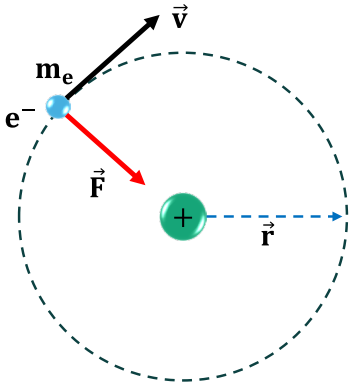
λ : Yayılan fotonun dalga boyu

h : Planck sabiti

BOHR ATOM TEORİSİNDE TEMEL KAVRAMLAR

a) Atom Yarıçapı

Bohr atom modeline göre çekirdek çevresinde çembersel hareket yapan elektrona etki eden merkezcil kuvvetin kaynağı çekirdek ile elektron arasındaki elektriksel kuvvettir.



Elektron çekirdek çevresinde merkezcil kuvvetin etkisiyle r yarıçaplı yörüngede çembersel hareket yapmaktadır.

HATIRLAYALIM

Merkezcil kuvvet $\Rightarrow$ $F_{mer} = m \cdot \frac{v^2}{r}$

Elektriksel kuvvet $\Rightarrow$ $F_e = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{d^2}$

Merkezcil kuvvet ve elektriksel kuvvetin eşitliğinden,

$$F_{mer} = F_e \Rightarrow m \cdot \frac{v^2}{r} = k \cdot \frac{e \cdot Z}{r^2} \Rightarrow v^2 = \frac{k \cdot Z \cdot e^2}{m \cdot r} \quad ....(1)$$

Açısal momentum bağıntısından v^2 elde edilirse,

$$L = m \cdot v \cdot r = n \cdot \frac{h}{2\pi} \Rightarrow v = \frac{n \cdot h}{2\pi \cdot m \cdot r} \Rightarrow v^2 = \frac{n^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot m^2 \cdot r^2} \quad ....(2)$$

(1) ve (2) ifadelerinin eşitliğinden yörünge yarıçapı r,

$$\frac{k \cdot Z \cdot e^2}{m \cdot r} = \frac{n^2 \cdot h^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot m^2 \cdot r^2} \Rightarrow r = \underbrace{\boxed{\frac{h^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot k \cdot e^2 \cdot m}}}_{\boxed{\cong 0,53 Å}} \cdot \frac{n^2}{Z}$$

n. Yörüngede dolanan elektronun yarıçapı,

$$r_n = 0,53 \cdot \frac{n^2}{Z} Å$$ olarak bulunur.

HATIRLAYALIM

k: Coulomb sabiti ($k = 9 \cdot 10^9$ N•m²/C²)

e: Elektronun yükü ($q_e = 1,602 \cdot 10^{-19}$ C)

Z : Atom numarası

r : Elektronun yörünge yarıçapı

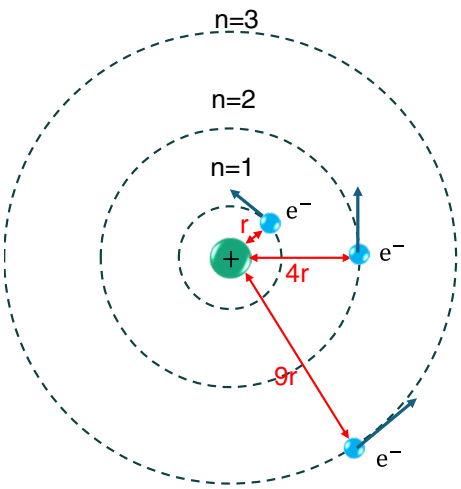
m: Elektronun kütlesi ($m = 9,11 \cdot 10^{-28}$ g)

v : Elektronun hızı

L : Elektronun açısal momentumu

h : Planck sabiti ($h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J•s)

Å : Angström ($1Å = 10^{-10}$ m)



Hidrojen atomuna ait yörüngelerin yarıçapları arasındaki ilişki

$r_n = 0,53 \cdot \frac{n^2}{Z} Å$ bağıntısında a_0 =0,53 Å ifadesine **Bohr yarıçapı** denir.

Bu durumda yörünge yarıçapı, $r_n = a_0 \cdot \frac{n^2}{Z}$ olur.

Buna göre, elektronun bulunduğu yörünge yarıçapı n^2 ile doğru orantılıdır.

Z = 1 olmak zorunda olduğundan, elektron 1. yörüngeyken yörünge yarıçapı, $n = 1 \Rightarrow r_1 = a_0 \cdot \frac{1^2}{1} \Rightarrow r_1 = a_0 \Rightarrow r_1 = r$ alınırsa

Elektron 1. yörüngeyken yörünge yarıçapı n =1 $\Rightarrow r_1 = r$

Elektron 2. yörüngeyken yörünge yarıçapı n = 2 $\Rightarrow r_2 = 4r$

Elektron 3. yörüngeyken yörünge yarıçapı n = 3 $\Rightarrow r_3 = 9r$

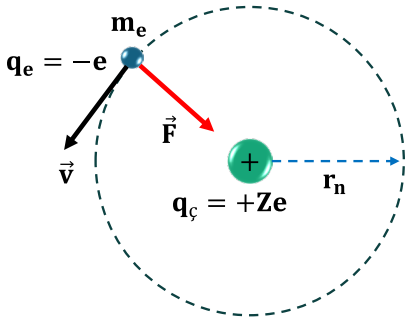
şeklinde yazılabilir. Atom tek elektronlu yapıda olduğu için Şekilde gösterilen üç yörüngeden sadece bir yörüngede dolanabilir.

Bohr atom teorisi tek elektronlu atomları incelediği için elektronun dolanım yarıçapı atomun yarıçapı sayılır.

b) Enerji Seviyeleri

Çekirdeğin etrafında kararlı yörüngelerde v hızıyla dolanan elektronların sahip olduğu kinetik enerji ve potansiyel enerjinin toplamına elektronun toplam enerjisi (E_n) denir.

n. Yörüngede dolanan elektronun toplam enerjisi, $E_n = -13,6 \cdot \frac{Z^2}{n^2} (eV)$ eşitliğiyle bulunur.



Çekirdek çevresinde merkezcil kuvvetin etkisiyle r yarıçaplı yörüngede çembersel hareket yapmakta olan elektronun enerjisi, potansiyel ve kinetik enerjilerinin toplamına eşittir.

Bir elektronun 1 voltluk gerilim altında bir elektronun kazanacağı kinetik enerjiye 1 eV denir.

Eşitlikteki (–) işareti elektronun çekirdeğe bağımlı olarak hareket ettiğini gösterir. Bu durumda elektronu çekirdekten bağımsız hale getirmek için bu negatif enerji kadar enerji elektrona verilmelidir. Bu enerjiye **bağlanma enerjisi** adı verilir.

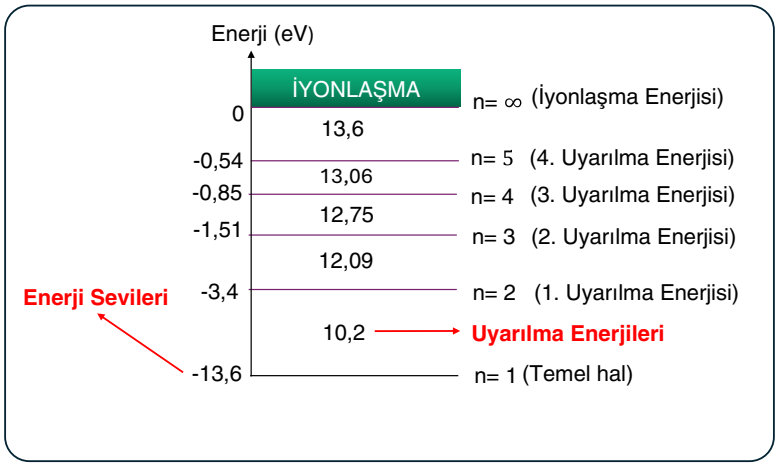
Atom numarası Z = 1 olan hidrojen atomunun elektronuna ait enerji seviyeleri,

$E_n = -13,6 \cdot \frac{Z^2}{n^2} (eV)$ bağıntısı kullanıldığında

$n = 1 \Rightarrow E_1 = -13,6$ eV
$n = 2 \Rightarrow E_2 = -3,40$ eV
$n = 3 \Rightarrow E_3 = -1,51$ eV
$n = 4 \Rightarrow E_4 = -0,85$ eV
$n = 5 \Rightarrow E_5 = -0,54$ eV
...
$n = \infty \Rightarrow E = 0$

olur.

Bağıntıdaki eksi işareti elektronun üst yörüngelere çıktıkça toplam enerjisinin sıfıra yaklaşarak arttığını ve sıfır olunca da elektronun atomdan koptuğunu yani iyonlaştığını gösterir.



Hidrojen atomuna ait enerji seviyeleri ve uyarılma enerjileri

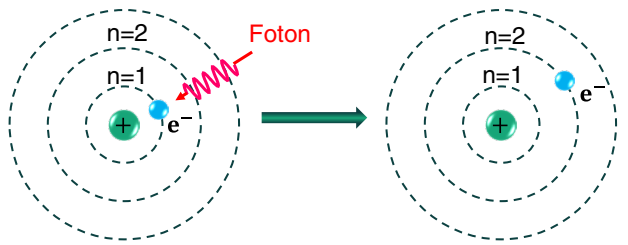
KRİTİK BİLGİ

n yörünge numarası arttıkça;

- Elektronların açısal momentumu artar.
- Elektronların yörünge yarıçapı artar.
- Elektronların toplam enerjileri artar.
- Elektronlar çekirdekten uzaklaştıkça çekirdeğe bağlılıkları azalacağından elektronların çizgisel momentumu ve hızı azalır.
- n. yörüngeye uyarılmış bir atomun salabileceği foton sayısı N (spektrum çizgilerinin sayısı) $N = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$ bağıntısıyla bulunur.

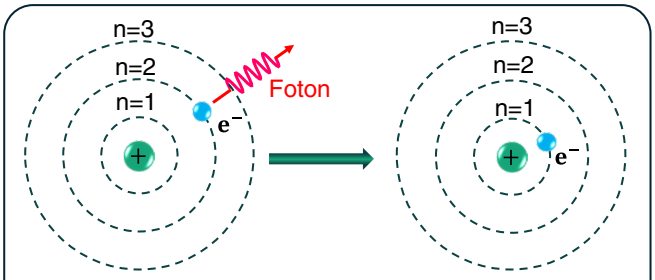
c) Atomun Uyarılması, Işıma ve İyonlaşma

Normal şartlarda atom temel halde yani minimum enerji seviyesinde bulunur.



Foton tarafından uyarılan elektronun üst enerji seviyesine çıkması

Atom yeteri kadar enerji alırsa elektronlar, bir üst enerji seviyesine çıkar. Atomun enerji alarak temel halden uzaklaşmasına **uyarılma** denir.

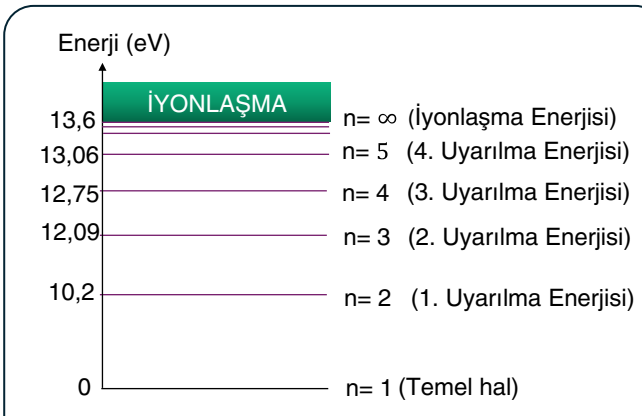


Üst enerji seviyesinden ışıma yaparak alt enerji seviyesine inen elektron

Uyarılmış bir atom çok kısa bir süre içerisinde aldığı enerjiyi foton şeklinde yayarak tekrar temel hâle döner. Bu olaya **ışıma** denir.

KRİTİK BİLGİ

Bir elektronu uyarabilmek için en az bulunduğu yörüngesindeki enerjisi ile bir üst yörüngedeki enerjisi arasındaki fark kadar enerji verilmelidir.



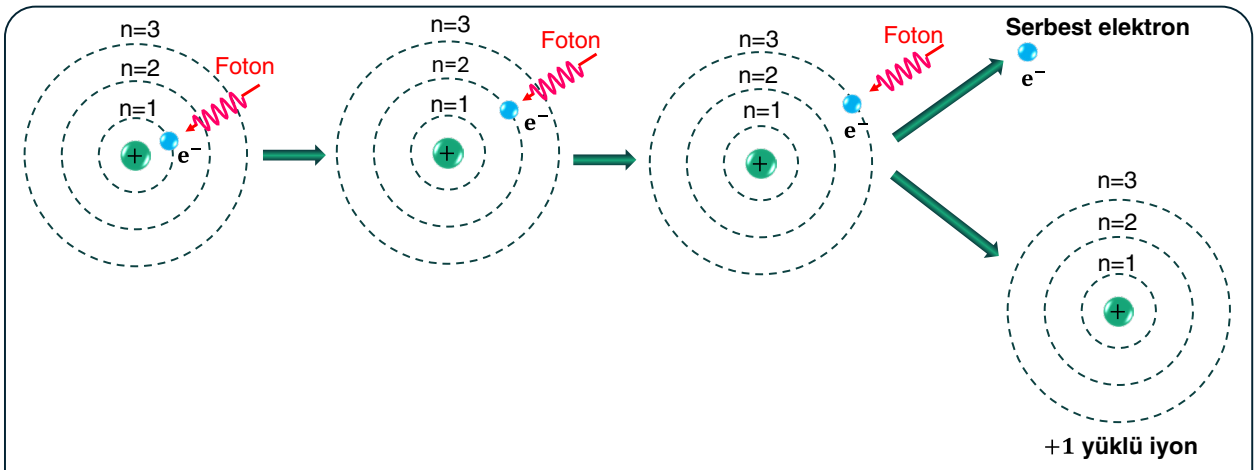
Hidrojen atomuna ait uyarılma enerjileri

Şekilde verilen grafiğe göre temel haldeki bir elektronu

- 1. uyarılma seviyesine çıkarabilmek için
  13,6 - 3,4 = 10,2 eV
- 2. uyarılma seviyesine çıkarabilmek için
  13,6 - 1,51 = 12,09 eV
- 3. uyarılma seviyesine çıkarabilmek için
  13,6 - 0,85 = 12,75 eV
- 4. uyarılma seviyesine çıkarabilmek için
  13,6 - 0,54 = 13,06 eV
- İyonlaşma enerjisi için
  E_i = 13,6 - 0 =13,6 eV

enerji gerekmektedir.

Elektrona enerji vererek çekirdekten koparan bu enerjiye **iyonlaşma enerjisi** denir. Bu durumun sonunda atom yüklü hale geçer yani iyon oluşturur.



Fotonlarla uyarılarak atomun iyonlaşması

DİKKAT

Bohr atom modeli tek elektronlu atomların spektrumlarını açıklayabilir.

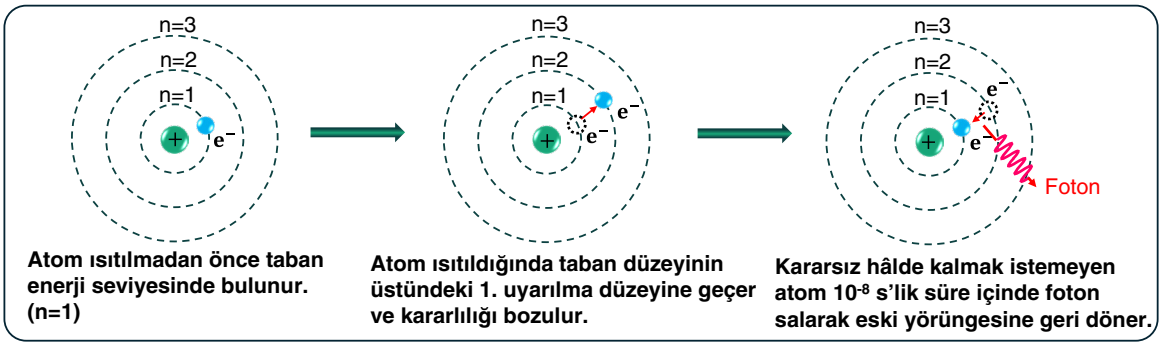
Bohr atom modeli çok elektronlu atomların spektrumunu açıklayamaz.

ATOMUN UYARILMASI VE ATOMUN UYARILMA YOLLARI

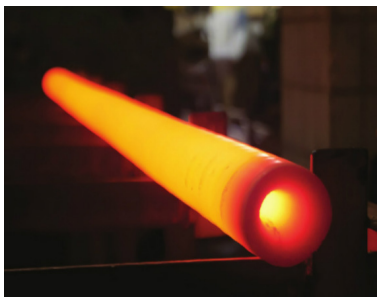
Atomun uyarılması için dışarıdan enerji alması gerekir. Atoma ait elektronlar bulunduğu enerji seviyesinden bir üst enerji seviyesine çıkarılırsa atom uyarılmış hale gelir. Uyarılan elektronlar kararsız hâle gelir. Uyarılan elektronlar, bir üst enerji seviyesinden 10^{-8} s gibi çok kısa bir sürede kendi bulunduğu enerji seviyesine geri döndüğünde dışarı her iki enerji farkı kadar enerjiye sahip foton yayınlanır. Elektronlar tekrar kararlı hâle gelir.

1. Atomun Isıtılarak Uyarılması

Bir atom ısıtıldığında iç yörüngede bulunan elektronun enerjisi artar ve elektron bir üst yörüngeye sıçrar ve atomun kararlılığı bozulur. Atom tekrar kararlı hâlde bulunma isteğinden dolayı 10^{-8} saniyede ışıma yaparak sahip olduğu fazla enerjiyi foton salarak dışarı atar. Foton salınımı sonucunda elektron eski yörüngesine döner.



Atom dışarıdan aldığı enerjiyi ışık olarak gösterir. Metallerin enerji seviyeleri farklı olduğundan dolayı farklı renklerde ışıma yapabilirler.



Demirin ısıtılması ve renk değişimi

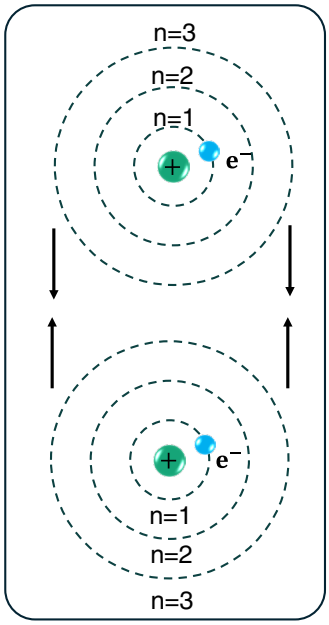
Demir belirli bir sıcaklığa kadar ısıtıldığında parlak bir renkte ışıma yapar ve aldığı ısı enerjisini dışarıya ışıma yoluyla salar. Bu olay sürekli spektruma örnek olarak verilebilir.

Yıldırımın havada parlak renkte görülmesi

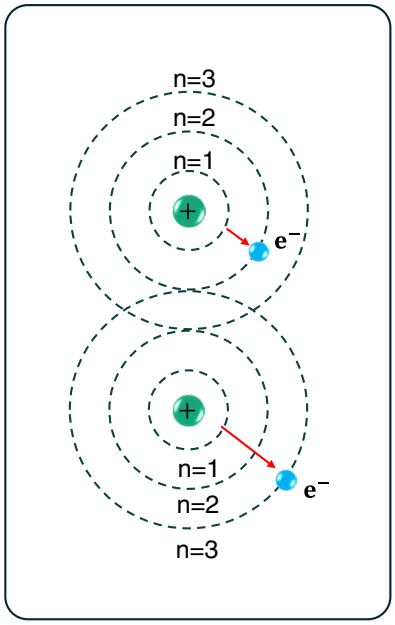
Hava %78 azot, % 21 oksijen ve diğer gazlardan oluşur. Elektrik akımı sayesinde ısınan bu gazların sıcaklığı 50000 K'e ulaştığında iyonlaşır ve fazla enerjilerini ışıma yoluyla dışarı salarlar.

2. Atomların Birbiriyle Çarpışması Sonucunda Uyarılması

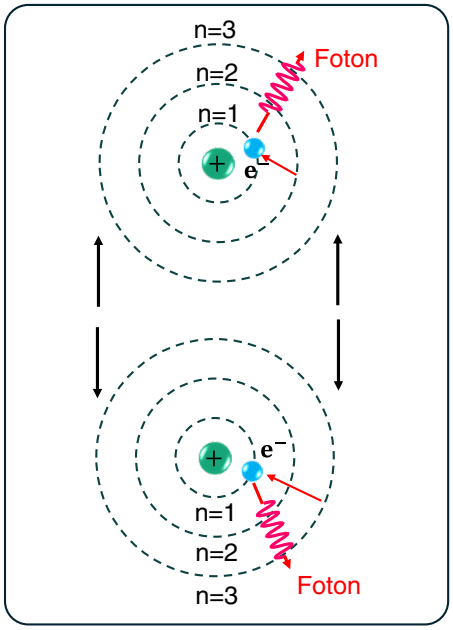
Atomlar yüksek sıcaklık ve basınçla birbirleriyle esnek çarpıştırılabilir. Bu çarpışmalar kararlı yörüngede temel halde bulunan elektronların bir üst enerji seviyesine çıkmasını sağlar ve atom uyarılmış olur. Kendi yörüngesine tekrar dönen elektron iki enerji seviyesi arasındaki fark kadar bir enerjiyle dışarıya foton yayınlar. Atomlar çarpışma sırasında aldıkları fazla enerjiyi 10^{-8} s içinde foton salarak kaybeder ve atom etki ile oluşan enerjiden foton yayınlayarak kurtulmuş olur.



I. Atomlar hızlandırılır.



II. Atomlara esnek çarpışma yaptırılması, atomların yörüngelerinde bulunan elektronların üst enerji seviyelerine çıkmasına yani atomun uyarılmasına neden olur.



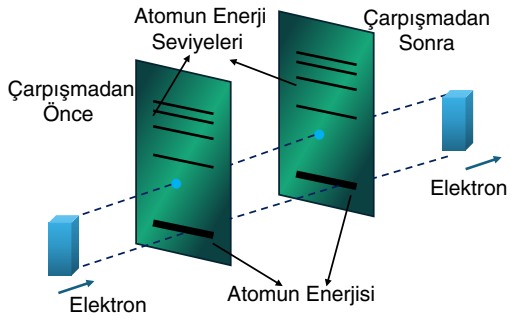
III. Uyarılan atom 10^{-8} saniyede ışıma yaparak fazla enerjisinden kurtulur ve tekrar temel hale geri dönerek kararlı hale geçer.

3. Atomun Elektronlar ile Uyarılması

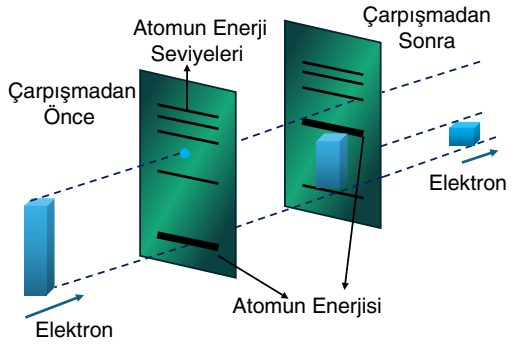
Atom elektronlarla bombardıman edildiklerinde atomun elektronları ile atom üzerine gönderilen elektronlar arasında etkileşim olabilir. Bu etkileşim sonucunda atomun elektronları bir üst enerji seviyesine çıkarsa atom uyarılır. Ancak atomu elektronlarla uyarmanın şartları vardır.

- Temel halde bulunan elektron, yeterli enerjiyi aldığında 2., 3., 4. enerji seviyelerine çıkabilir.
- Atom üzerine gönderilen elektron enerjisinin bir kısmını atoma aktardıktan sonra kalan enerjisi ile yoluna devam eder. Kalan enerji yeterliyse başka bir atoma ait elektronları da uyarabilir. Örneğin 11 eV enerjili elektronların hidrojen atomu ile etkileştiğinde elektronlar, 11 eV'luk enerji ya da 11 - 10,20 = 0,80 eV'luk enerji ile atomdan uzaklaşır.
- Çarpışma sonucunda uyarılan bir elektron, üst enerji seviyesindeyken başka bir elektron ile 2. defa uyarılmaz.
- Elektronlarla atom iyonlaştırılmak istenildiğinde atomun iyonlaşma enerjisine eşit veya daha büyük enerjili elektronlar gönderilir. İyonlaşmada atom uyarılmıştır ama elektron bir alt enerji seviyesine inemeyeceğinden ışıma olmaz.

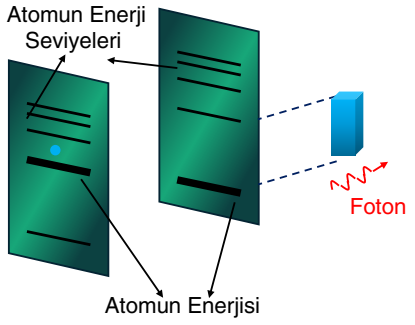
Örneğin 15 eV enerji ile temel haldeki elektrona çarpan bir elektron enerjisin 13,60 eV'luk kısmı ile elektronu iyonlaştırır ve kalan 1,40 eV'luk enerji ise elektronun kinetik enerjisidir.



Elektronun enerjisi, atomu 1. uyarılma düzeyine çıkaracak enerjiden küçük olduğundan, esnek çarpışma yaparak aynı enerjiyle gider ve atom uyarılmadığı için ışıma olmaz.



Elektronun enerjisi, 1. uyarılma enerjisinden daha büyük olduğundan atom elektrondan 2. enerji düzeyine çıkmak için gerekli enerjiyi soğurur ve elektron geri kalan enerjiyle yoluna devam eder. Bu çarpışma esnek olmayan çarpışmadır.



Uyarılmış atom temel hale dönerken, enerji düzeyleri arasındaki farka eşit enerjili foton salar.

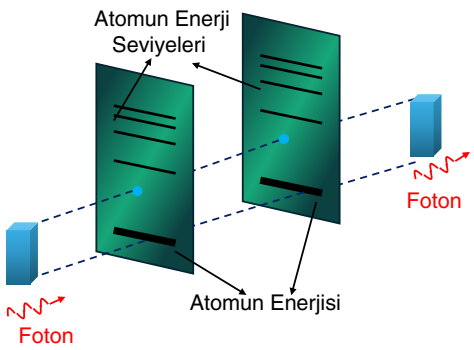
4. Atomun Fotonlarla Uyarılması

Atom üzerine gönderilen fotonun enerjisi, atomun uyarılma enerjilerinden birine eşit ise uyarır, eşit değilse uyarmaz.

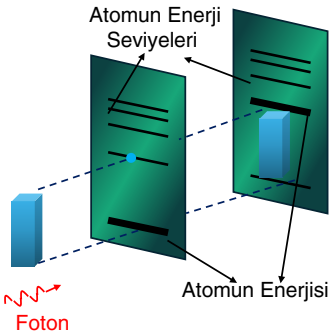
Bir foton, atomdan ancak bir elektron koparabilir. Yani bir foton enerjisini 2 veya daha fazla elektrona aktaramaz.

Çünkü fotonun enerjisi bölünmez ve tüm enerjisi etkileştiği elektron tarafından soğurulur.

- Atom üzerine gönderilen fotonun enerjisi 1. uyarılma enerjisinden küçükse, foton esnek çarpışma yaparak aynı enerjiyle dışarı çıkar ve atom uyarılmaz.
- Atom üzerine gönderilen fotonun enerjisi 1. uyarılma enerjisine eşitse enerjisini atoma vererek atomu uyarır ve sonuçta foton soğurulur. 1. uyarılma seviyesine çıkan elektron 10^{-8} s'de tekrar temel hale döner ve dışarı aynı enerjili foton salarak ışıma yapar.
- Atom üzerine gönderilen fotonun enerjisi 1. uyarılma seviyesinden büyükse foton esnek çarpışma yaparak aynı enerji ile dışarı çıkar. Foton bu durumda atoma enerji vermediğinden dolayı atom uyarılmaz.

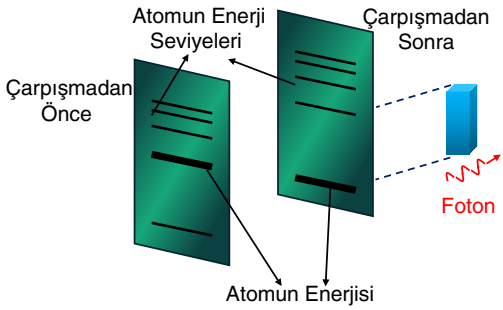


Gelen fotonun enerjisi 1. uyarılma enerjisinden küçükse foton aynı enerji ile dışarı çıkar. Atom uyarılmamış olur.

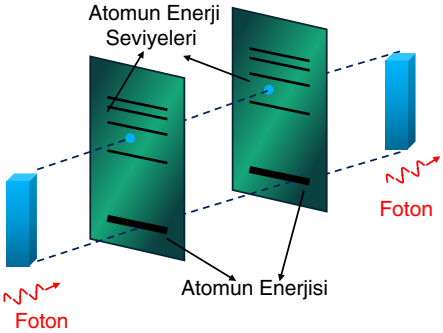


Gelen fotonun enerjisi 1. uyarılma enerjisine eşit enerji ile geldiğinde enerjisini atoma verir.

Atom uyarılır ve foton soğurulmuş olur.



1. uyarılma seviyesine çıkan elektron kısa bir süre sonra tekrar temel hale döner. Elektron temel hale dönerken aynı enerjili foton salarak ışıma yapar.



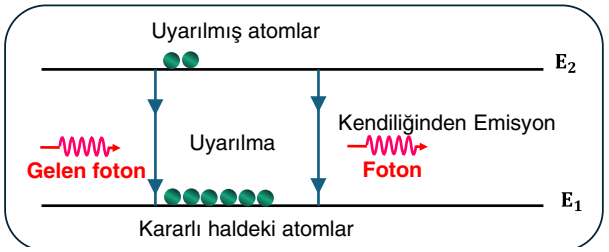
Gelen fotonun enerjisi, atomun 1. uyarılma seviyesinden daha büyük ise foton esnek çarpışma yaparak enerji vermeden dışarı çıkar. Foton atoma enerji vermediğinden atom uyarılmaz.

Emisyon

Uyarılmış olan elektronların bulundukları enerji seviyesinden daha alt enerji seviyelerine inerken foton yayımlanması olayına **emisyon** veya **yayımlama** denir. Kendiliğinden emisyon ve uyarılmış emisyon olmak üzere iki çeşit emisyon türü vardır. Uyarılmış emisyon 6. ünitede işlenecektir,

Kendiliğinden Emisyon

Uyarılmış olan elektronlar bulundukları enerji seviyesinden bir alt enerji seviyesine geçişleri kendiliğinden oluyorsa bu olaya **kendiliğinden emisyon** denir. Uyarılmış elektron üst enerji seviyesinden alt enerji seviyesine kendiliğinden inerken foton salarak ışıma yapar.



Atomlar kararlı halde bulunmak isterler. E_1 enerji düzeyinde bulunan kararlı haldeki atomların sayısının E_2 enerji düzeyindeki uyarılmış atomların sayısından fazla olması atomların kararlı halde bulunmak istemesindendir.

1. uyarılma enerjisi E_1'e eşit enerjiyle gönderilen fotonlar temel halde bulunan atomları uyarır ve bu atomlar tekrar temel hale dönerken ışıma yaparak dışarı foton salarlar. Kararlı hale dönen atomların enerjisi, frekansı ve dalga boyu atom üzerine gönderilen fotonun enerjisine, frekansına ve dalga boyuna eşittir.

Hidrojen atomunda veya başka bir atomda elektron üst enerji seviyesinden alt enerji seviyelerine inerken elektromanyetik ışıma yapar.

Her elementin atomlarının enerji seviyeleri farklı olduğundan, atomlar kendiliğinden emisyona uğrarken yaydıkları ışıma enerjileri de farklıdır ve atoma özeldir.

Farklı enerji düzeylerinden düşen elektronlar düşme ihtimallerinin olduğu enerji düzeylerine göre ,

n=1 seviyesine düşen elektronlar Lyman (Laymın) serisi yani mor ötesi ışık

n=2 seviyesine düşen elektronlar Balmer (Balmır) serisi yani görünür ışık

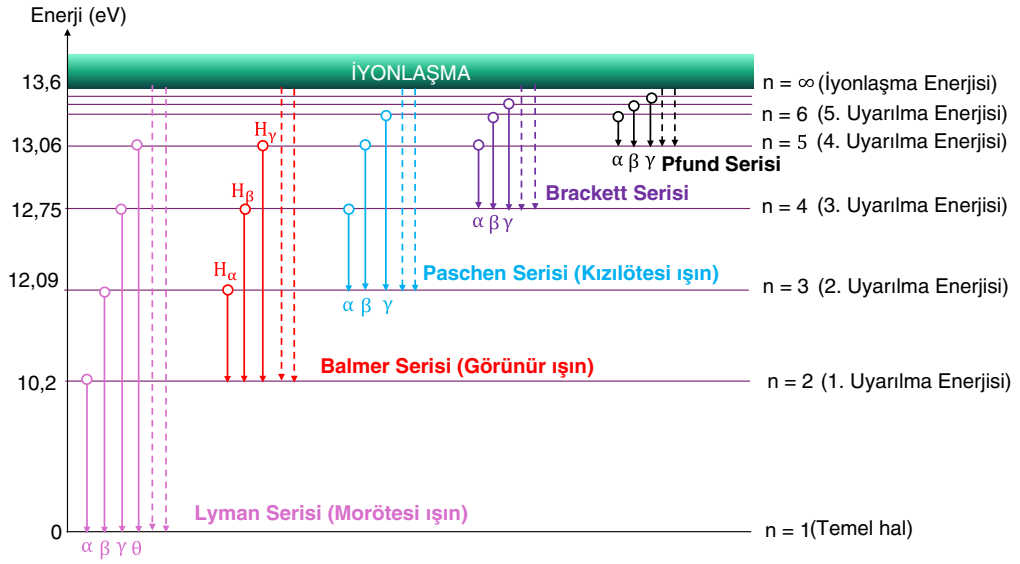
n=3 seviyesine düşen elektronlar Paschen (Paşen) serisi yani kızıl ötesi ışık

n=4 seviyesine düşen elektronlar Bracket (Brakıt) serisi

n=5 seviyesine düşen elektronlar Pfund (Pufan) serisi

adı verilir.

n. yörüngede bulunan bir elektronun yapabileceği ışıma sayısı $N = \frac{n \cdot (n-1)}{2}$ bağıntısıyla bulunur.



Uyarılmış atomun ışıma serileri

MODERN ATOM TEORİSİ

Bohr atom teorisi diğer teorilerden farklı olarak çekirdek kavramını açıklamasıyla, kuantumlu açısal momentumu ilk defa ortaya atmasıyla, kuantumlu enerji seviyelerinde ışımayı ifade etmesiyle yeni ve başarılı bir teori olarak kabul görmüştü. Klasik fizikle kuantum fiziğinin birleştirilmesi atoma yeni bakış açısı getirmişti. İlerleyen süreçte deneylerde gözlenen veriler Bohr atom teorisinin eksiklerini ortaya çıkarmış ve yeni bir atom teorisine ihtiyaç duyulmuştur. Bundan dolayı Bohr atom teorisinden sonra **Modern Atom Teorisi** geliştirilmiştir.

Bohr atom modeli sonrasında yapılan deneyler ve çalışmalarda elektronların hem tanecik hem de dalga olarak düşünülmesi ortaya çıkmıştır. Atomun karmaşık yapısını incelemek için geliştirilen mekaniğe **kuantum mekaniği** denir.

Louis De Broglie (1892-1987)

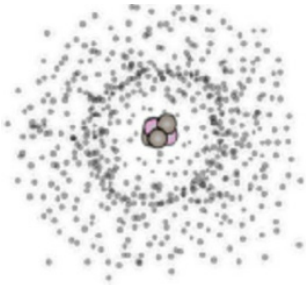
1923 yılında Louis De Broglie, tanecik ve dalganın birbirinin tamamlayıcısı olduğu ve her taneciğe bir dalganın eşlik ettiğini ifade eden hipotezini öne sürdü. De Broglie maddeyi dalga doğasıyla açıklamaya çalışmış ve her maddeye eşlik eden bir dalgadan bahsetmiştir. Parçacıkların, momentuma sahip olduğunu ve momentuma göre değişen bir dalga boyuna sahip olması gerektiğini öngördü. Elektronların çizgisel momentumları sürekli değiştiği için dalga boyunun da sürekli değişmesi gerekiyordu. Bu dalgalar, elektromanyetik dalgalar değildi, madde dalgalarıydı ve daha sonra kendi ismiyle anılan De Broglie dalgaları hâline geldi. De Broglie'nin dalgası bir olasılık dalgasıdır. De Broglie'nin çalışmaları elektron mikroskobunun keşfine temel oluşturmuştur.

De Broglie'nin çalışmaları parçacık madde midir yoksa dalga mıdır sorusunu akıllara getirdi.

Karl Werner Heisenberg

(1901-1976)

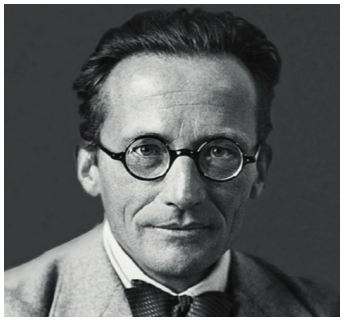
1925 yılında Werner Heisenberg (Verner Hayzenberg) kendi adıyla anılan Belirsizlik İlkesi'ni açıklamıştır. Heisenberg belirsizlik ilkesi, bir parçacığın aynı anda hem momentumunun hem de konumunun tam doğrulukta ölçülemeyeceğini gösterir. Parçacığın konumu belliyse hızının, hızı belliyse konumunun bilinemeyeceğini ortaya koyar. Sonuç olarak maddenin parçacık özelliği öne çıkmışsa dalga özelliği, dalga özelliği öne çıkmışsa parçacık özelliği belirlenemez denilebilir. Werner Heisenberg enerji ve zamanın da aynı anda belirlenemeyeceği sonucuna ulaşmıştır. Belirsizlik ilkesine göre elektronlar çembersel bir yörüngede değil, çekirdek etrafındaki bulut içerisinde herhangi bir yerde bulunma olasılığından bahseder.



Elektron bulutu modeli

Belirsizlik ilkesine göre, elektronları bir çekirdeğin etrafında dönen, belirli bir konumu ve momentumu olan parçacıklar gibi düşünmemek gerekir. Bu nedenle modern atom teorisinde çekirdeğin etrafında dönen elektronlardan değil çekirdeğin etrafındaki elektron bulutundan bahsedilir.

Elektronun bulunma ihtimalinin yüksek olduğu bölgeye elektron bulutu denir. Elektron bulutu bazı bölgelerde çok yoğundur .Elektronun bu yoğun bölgede bulunma olasılığı yüksek olup elektronun çekirdeğe yakın bölgelerde bulunma olasılığı daha yüksektir. Çekirdekten uzaklaşıldıkça elektronun belli bir bölgede bulunma olasılığı azalır.



Erwin Schrödinger (1887-1961)

Heisenberg belirsizlik ilkelerini destekleyen Erwin Schrödinger (Ervin Şrödinger), elektronların hareketini dalga paketleri hâlinde kendi adıyla anılan Schrödinger dalga denklemleri ile ifade etmiştir Schrödinger, dalga denklemlerini hidrojen atomuna uyguladı ve Bohr atom teorisinde ifade edilen açısal momentumu, yarıçapı ve enerji seviyelerini doğruladı. Elektromanyetik dalgaların yanında böylelikle madde dalgaları (olasılık) diye bir dalga türü daha ortaya çıkmış oldu. Bugün bilinen kuantum sayıları (baş kuantum sayısı, açısal kuantum sayısı, manyetik kuantum sayısı, spin kuantum sayısı) elektronların hangi yörüngelerde bulunacağını açıklar.

Schrödinger'in kuramı deneylerle uyumlu sonuçlar verdiğinden tam olarak uyumlu olmasını, Albert Einstein'ın Özel Görelilik Teorisi ile Schrödinger'in teorisini birleştiren **Paul Dirac** yapmıştır. Paul Dirac'ın ortaya koyduğu teoriye **Rölativistik Kuantum Mekaniği** denir.

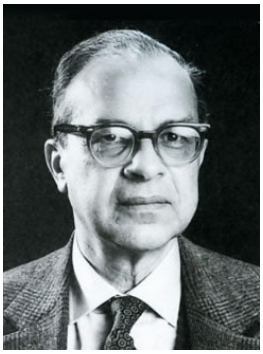
Modern Atom Teorisine Göre Atomun Özellikleri	
1	De Broglie hipotezinde maddeye eşlik eden De Broglie dalgaları ile Heisenberg belirsizlik ilkesinde belirtilen maddenin parçacık ve dalga özelliğinin aynı anda belirlenememesi modern atom teorisinde geçerlidir.
2	Bohr atom modelinde elektronların yörüngeleri, çekirdeğe olan uzaklıkları, açısal momentumları ve enerjileri De Broglie hipotezine uygun olarak kuantumludur. Modern atom modelinde de geçerlidir.
3	Bohr atom modelinde uyarılan elektronlar, temel hâldeki enerji seviyelerine dönerken ışıma yapar ve yayınlanan fotonun enerjisi, enerji seviyeleri farkına eşittir.
4	Işıma spektrumu dış manyetik alan etkisi altında incelendiğinde bazı spektrum çizgilerinin alt spektrum çizgilerine ayrıştığı görülür.
5	Elektronların durumu kuantum sayıları ile ifade edilir. Her yörüngede bulunacak elektron sayısı bellidir. Elektronun yeri hakkındaki bilgiler dalga fonksiyonundan elde edilir. Örneğin orbitallerin açıklanmasında ilk yörüngede 2 elektron, ikinci yörüngede 8 elektron bulunması.
6	Elektronların atom çekirdeği etrafındaki enerji seviyelerinde (yörüngelerde) bulunma olasılığının en fazla olduğu bölge orbitallerdir. Her enerji seviyesinde n^2 kadar orbital, $2n^2$ kadar elektron bulunur (n yörünge numarası).
7	Bohr atom modeline göre elektron çekirdek çevresinde dönerken yörüngenin çevresi, elektrona eşlik eden dalganın dalga boyunun tam katlarına eşittir. Modern atom modelinde de geçerlidir. Bağıntı şu şekilde yazılabilir: $2\pi r_n = n \cdot \lambda$ (n yörünge numarası).
8	Elektronlar hem çekirdek etrafında dolanır hem de spin (iç açısal momentum) hareketi yapar. Parçacıkların hareketleri kuantum sayıları ile ifade edilir.

Atom fiziği alanında ki gelişmelere katkı sağlayan ülkemizin yetiştirdiği değerli bilim insanları da vardır.

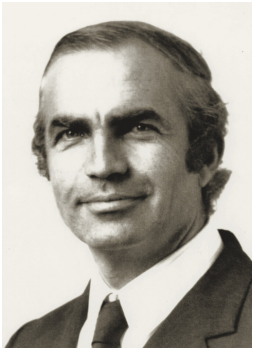
Feza Gürsey; 1960'lı yıllarda Kiral Bakışım Kuralı'nı ortaya koyarak uzay-zaman bakışımı çalışmalarının genişletilmesine yol açmış ve Kuantum Renk Dinamiği Kuramı ile ilgili çalışmalar yapmıştır. Feza Gürsey 1969 yılında Tübitak Bilim Ödülü'nü almış ve daha bir çok ödüle layık görülmüştür. 1979 yılında Einstein Madalya Ödülü' nü almıştır.

Asım Orhan Barut; Temel parçacıkların simetri özelliklerinin açıklanması konusunda yeni bir çığır açan fikir ve buluşların ortaya çıkmasında büyük rol oynamış ve 1982 yılında Tübitak Bilim Ödülünü almıştır.

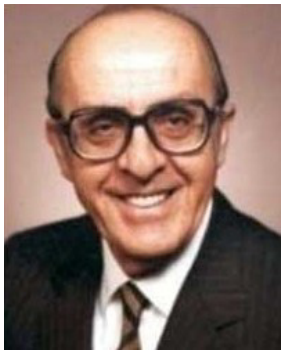
Behram Nazmi Kurşunoğlu; Albert Einstein ve Erwin Schrodinger ile birlikte "Birleşik Alan Teorisini" geliştirilmesi çalışmalarında bulunmuştur ve bu teori literatüre, 'Einstein-Schrodinger-Kursunoglu Teorisi' olarak geçmiştir. Modern kuantum Kuramı ile ilgili çalışmalar yapan Kurşunoğlu elementer parçacıklar için iç ve dış simetriyi teklif ederek bilim dünyasında önemli bir çıkış gerçekleştirmiştir. 1972 yılında Tübitak Bilim Ödülü'nü almıştır.



Feza Gürsey
(1921-1992)



Asım Orhan Barut
(1921-1992)



Behram Nazmi Kurşunoğlu
(1922-2003)

Dalton Atom Teorisinin Modern Atom Teorisi ile Karşılaştırılması

Dalton Atom Teorisine Göre	Modern Atom Teorisine Göre
Atom en küçük parçacıktır ve bütün elementler atomlardan oluşur.	Atomu oluşturan parçacıkların bulunması atomun en küçük yapı olmadığını göstermiştir.
Atomlar parçalanamaz, bölünemez ve yeniden oluşturulamaz.	Atomlar çekirdek tepkimeleri sonucu parçalanabilir veya başka bir atoma dönüşebilir.
Bir elementin bütün atomlarının boyutları kütleleri ve kimyasal özellikleri aynıdır. Farklı elementlerin atomları ise kendi içinde aynı fakat diğer elementlerinkinden farklıdır.	Bir elementin kimyasal özellikleri aynı olsa da fiziksel özellikleri ve kütleleri farklı olabilir (izotop).
Bileşikler birden çok elementin atomlarından oluşmuştur.	Bileşikler birden çok elementin atomlarından oluşur.
Atomlar içi dolu kürelerdir.	Atomlar boşluklu yapılardır.

Thamson Atom Teorisinin Modern Atom Teorisi ile Karşılaştırılması

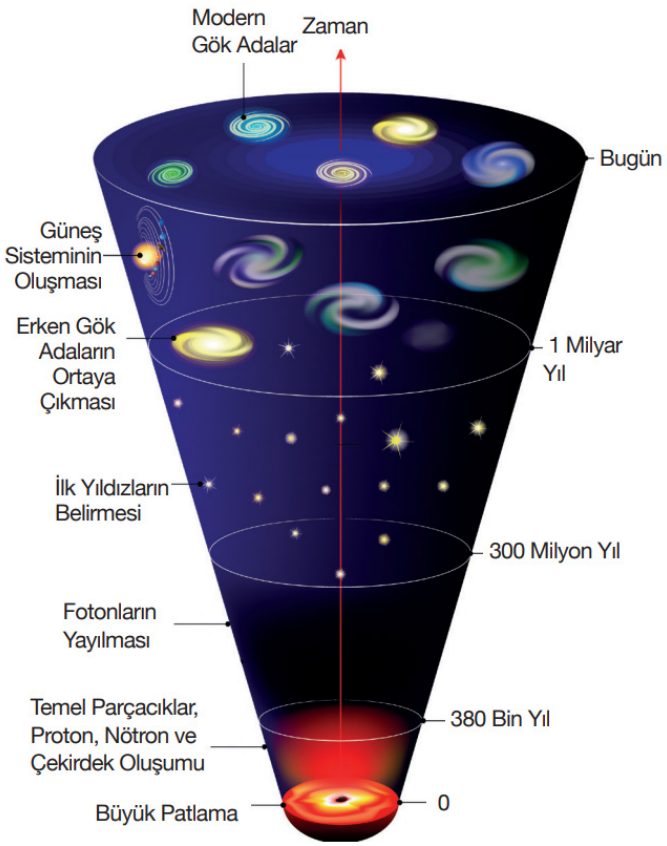
Thamson Atom Teorisine Göre	Modern Atom Teorisine Göre
Atomlar, çapı yaklaşık 10^{-10} m olan içi dolu kürelerdir.	Atomlar çapı yaklaşık 10^{-10} m civarında olan boşluklu yapılardır.
Küre içerisinde artı yükler ve hareketsiz eksi yüklü elektronlar rastgele dağılmıştır.	Elektronlar belirli bir yörüngede hareket eder. Rastgele hareket etmez.
Atomlarda pozitif yük ve negatif yük eşit sayıdadır. Bu yüzden atomlar yüksüzdür.	Elektronlar ve protonlar eşit sayıda olmayabilir. Atomlar yüklü olabilir.
Elektronların kütlesi atomun kütlesi yanın da ihmal edilecek kadar küçüktür. Atomun kütlesini pozitif yükler oluşturur.	Atomun içinde sadece elektron ve proton yoktur.

Rutherford Atom Teorisinin Modern Atom Teorisi ile Karşılaştırılması

Rutherford Atom Teorisine Göre	Modern Atom Teorisine Göre
Atomda çekirdek adı verilen bir yapı vardır.	Atom kütlesinin büyük bir kısmı çekirdekten oluşur.
Atomlar, pozitif yüklü çekirdek ile çekirdeğin çevresinde çembersel yörüngelerde dolanan negatif yüklü elektronlardan oluşur. Çekirdek pozitif yüklüdür ve atomun kütlesinin büyük bir kısmını oluşturur.	Atomun içinde bir çekirdek ve çekirdek çevresinde elektronların bulunma ihtimalinin yüksek olduğu yerler vardır.
Eğer elektronlar, durgun hâlde olsaydı elektronlar ve çekirdekteki pozitif yükler arasında oluşan elektrostatik çekimden dolayı çekirdek üzerine düşerdi.	Elektron, çekirdek çevresinde belirli yörüngelerde çekirdeğe düşmeden hareket eder.
Atomun büyük bir bölümü, boşluklu yapıdadır ve elektronlar, çekirdek çevresindeki bu boşluklarda hareket etmektedir.	Atomun büyük kısmı boşluktan oluşur.

BÜYÜK PATLAMA TEORİSİ

BÜYÜK PATLAMA VE EVRENİN OLUŞUMU



Büyük Patlama Modeli

Büyük patlama teorisi; evrenin aşırı yoğun, sıkıştırılmış enerji şeklinde, atomdan küçük ve sıcak bir noktadan meydana geldiğini savunan ve yaygın şekilde kabul gören bir modeldir.

Büyük patlama teorisine göre patlayan şey evrenin kendisidir. Yoğun parçacık ve fotonların soğuması sonucunda yıldızlar ve gök adalar oluşmuş ve evrenin şekli ortaya çıkmaya başlamıştır.

Evrenin yaşının, büyük patlamadan günümüze kadar geçen sürenin, yaklaşık 13,8 milyar yıl olduğu düşünülmektedir.

•Büyük patlamadan sonraki ilk saniyede evren çok sıcak ve çok yoğun bir hâldedir ve henüz atomlar bile oluşmamıştır.

•Büyük patlama teorisine göre dört temel kuvvet içerisinde diğerlerinden ilk ayrılan kuvvet, kütle çekim kuvveti olmuştur.

•Evren genişleyip soğudukça maddenin temel yapı taşları olan kuarklar ve leptonlar oluşmuştur.

•Bir dakika sonra kuarklar birbirine yapışıp protonları ve nötronları oluşturmuştur.

•Ardından ilk 3 dakika içinde proton ve nötronlar atom çekirdeklerini oluşturacak şekilde birleşmiştir.

•300 bin yıl sonra çekirdekler elektronlarla bağlanarak ilk atomları oluşturmuştur.

•200 milyon yıl sonra ise ilk yıldızlar oluşmuştur.

Evrenin Genişlemesi

Üzerinde yaşadığımız Dünya da dâhil olmak üzere her türlü astronomik cismi (gökadalar, gezegenler, yıldızlar, tozlar vb.) içine alan madde ve enerjinin tamamı evreni oluşturur.

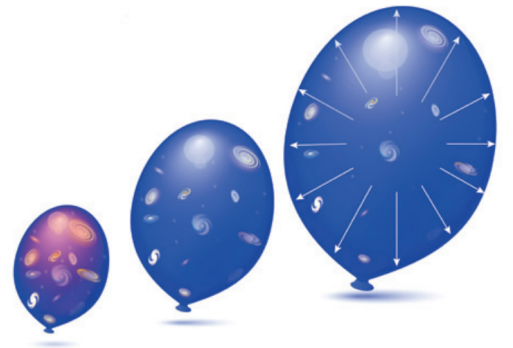
Peki, evrenin sınırları neresidir?

Günümüz teknolojisi ile (teleskoplar, uydular vb.) evrenin görülebilen kısmı yani görünür evrenin çapı, şu an için ışığın yaklaşık 93 milyar yılda katedebileceği mesafe olarak tahmin edilmektedir. Evrenin boyutları muhtemelen görünür evrenden çok daha büyüktür.

Evrenin başlangıcı, oluşumu ve geleceği birtakım teorilerle anlaşılmaya çalışılmaktadır. Sonsuz büyüklükteki evrenin büyük patlama ile başladığı fikri 1920 yılında ortaya atılmıştır.

Büyük patlamadan sonra evrenin sürekli genişlediği fikri, bütün bilim çevrelerince kabul görmektedir. Son bulgular, evrenin sürekli genişlemekte hatta bu genişlemenin hızlanarak gerçekleşmekte olduğunu göstermektedir. Evrenin genişlemesinin sonsuza kadar devam edip etmeyeceği konusu henüz kesinlik kazanmamıştır.

Büyük patlama teorisini destekleyen bulgulardan en önemlileri Doppler Etkisi ve Kozmik Mikrodalga Art Alan Işıması'dır.



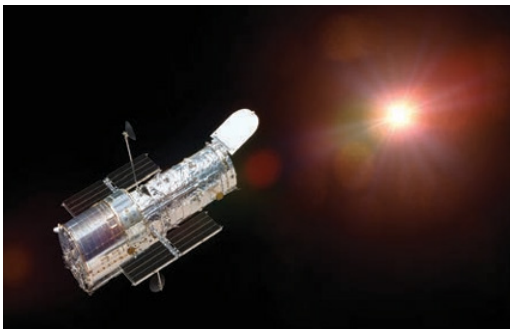
Galaksilerin birbirinden uzaklaşması evrenin genişlediğini kanıtlayan bir olaydır.

Evrenin genişlediğini anlayabilmek için balon modeli oluşturulmuştur. Az şişirilmiş balon üzerine aralıklarla noktalar işaretlenip, balon şişirildiğinde bu noktalar arasındaki uzaklıkların arttığı gözlenir. Şişirildikçe genişleyen balon üzerindeki noktalar arası uzaklıkların arttığı gibi evrendeki galaksiler arasındaki uzaklıklarda artmaktadır.

Doppler Etkisi

Edwin Hubble (1889-1953)

Büyük patlama teorisinin dayandığı ilk bilimsel bilgiyi 1929 yılında Edwin Hubble keşfetmiştir. Hubble, teleskobu ile uzak galaksilerden gelen ışınları teleskopla incelediğinde galaksilerden gelen ışığın renk tayfının kırmızıya kaydığını ölçmüştür. Işığın renk tayfının kırmızıya kayması, Doppler olayından kaynaklanmaktadır. Buna göre evrendeki tüm galaksiler birbirinden uzaklaşmaktaydı. Evrenin genişlediğine dair önemli bir kanıt sunan bu keşif olan ve Hubble Yasası olarak adlandırılan bu yasaya göre ''galaksilerle aramızdaki mesafe ne kadar fazlaysa galaksilerin bizden uzaklaşma hızları da o kadar fazladır.'' Galaksilerin birbirinden uzaklaşması evrenin genişlediğini kanıtlayan bir olaydır. Ancak galaksilerde bir genişleme olmaz.



Hubble Uzay Teleskobu

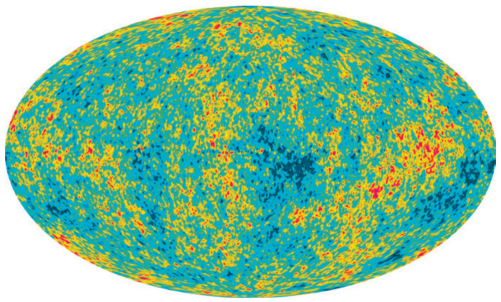
Hubble Yasası göz önüne alındığında uzak bir geçmişte evrendeki bütün madde ve enerji, hayal bile edilemeyecek bir yoğunluğu ve sıcaklığı olan küçük tekil bir noktada toplanmış olmalıydı ve zamanda yeterince geriye gidebilme şansı olsaydı büyük patlama denilen her şeyin başladığı bu zamana ulaşılabilirdi.

Edwin Hubble'ın anısına 1990 yılında uzaydaki yörüngesine yerleştirilen dev uzay teleskobuna Hubble Uzay Teleskobu adı verilmiştir. Bu teleskop sayesinde evrenin genişleme hızının sürekli arttığı gözlenmiştir.

Kozmik Mikrodalga Art Alan Işıması

Evren, büyük patlamanın ardından öyle sıcak ve yoğunduki bu sıcaklık ve yoğunluk nedeniyle fotonların enerjisi çok yüksekti. Fotonlar, sürekli atom altı parçacıklarla çarpışıyor; bir araya gelen parçacıkları da çarparak parçalıyordu. Genişledikçe evrenin sıcaklığı ve yoğunluğu azaldı. Böylece fotonların enerji seviyesinde düşüş oldu ve kararlı atomlar oluşmaya başladı. Atomların oluşmasıyla birlikte büyük patlamadan arda kalan fotonlar serbestçe yayılma imkânı buldu. Bu olaylar, evrenin her yerinde meydana geldiği için bu ışınlar, evrenin her yerinden yayılıyordu. 2,7 Kelvin değerinde yayılan bu ışınların mikrodalga boyutunda olduğu keşfedildi.

Bilim insanları bir mikrodalga alıcısını test ederken deneylerine rahatsız edici ıslık sesi gibi bir ses karışmış ve bu sese büyük patlamadan arda kalan ışımaların neden olduğu anlaşılmıştır. Bu yüzden bu ışınlara kozmik mikrodalga ışınları denildi. Mikrodalga art alan ışıması, 1964 yılında gözlemlerle tespit edildi. Kozmik mikrodalga art alan ışımasının incelenmesi amacıyla COBE uydusunun ölçüm sonuçlarıyla bilim insanlarının öngördüğü sonuçlar tam uyumlu çıkmıştır. Bu sonuçlardan hareketle büyük patlama teorisinin bir kanıtı daha bulunmuş oldu.



2001 yılında uzaya gönderilen WMAP uydusunun dokuz yılda çıkardığı kozmik mikrodalgaların, art alan radyasyon haritasındaki renkli kısımlara bakıldığında tüm evrene yayıldığı görülmektedir.

Evren Hakkında Üretilen Farklı Teoriler

Kozmik mikrodalga ışınımın 1960'lı yıllarda keşfedilmesi ile büyük patlama teorisi genel kabul görmüştür. Büyük patlama teorisi dışında evrenin oluşumu ve geleceğini açıklamaya çalışan teoriler de mevcuttur.

1930'lu yıllarda ortaya çıkan sabit evren teorisi, evrenin hep aynı kaldığını; salınan evren teorisi, patlamalar sonucunda evrenin çöktüğünü, her çöküş sonrasında tekrar patlamalar olduğunu ve bu sürecin devam ettiğini öngörmektedir.

1960'lı yıllarda dile getirilen açılıp kapanan evren modeli, evrenin önce genişleyip daha sonra büzüldüğünü ve bu döngünün sürekli devam ettiğini ifade eder.

1980'li yıllarda bilim dünyasına sunulan enflasyonist evren teorisi, Dünya gibi evrenin de bir şekli bulunması gerektiğini belirtmiş ve bu şeklin düz olduğunu söylemiştir.

Çoklu evren teorisi ise sonlu veya sonsuz birçok evrenin olduğunu öngörmektedir. Aradaki uzaklıklardan dolayı başka evrenlerin ışıkları diğer evrenlere ulaşmayabilir.

Evrenin Geleceği İle İlgili Görüşler

Karanlık madde, elektromanyetik dalgalarla (radyo dalgaları, gözle görülebilen ışık, x-ışınları, vb.) etkileşime girmeyen, varlığı yalnız diğer maddeler üzerindeki kütleçekimsel etkisi ile belirlenebilen maddelere denir.

Karanlık enerji, herhangi bir fiziksel parçacıkla ilişkili olmayan, evrenimizin genişlemesine neden olduğu düşünülen bir enerji türüdür.

Evrendeki kütle çekimsel enerjinin incelenmesi sonucunda, gözlemlenen toplam enerjinin yalnızca %4'ünün görülebilir maddelerden oluştuğu anlaşılmıştır. Yine gözlemlenen bu toplam enerjinin %22'sinin karanlık madde olduğu ve geriye kalan %74'lük kısmın ise karanlık enerjiden oluştuğu bilinmektedir.

Kritik yoğunluk, yerçekiminin genişlemeyi durdurabileceği yoğunluk değeridir. Kritik yoğunluk, evrenin genişlemenin sonunda büzülmeye başlayıp başlamayacağını belirler.

Kapalı Evren

Evrenin yoğunluğu kritik yoğunluktan büyük olduğunda evren soğuyarak genişlemesi yavaşlayacak sonra kütle çekimsel etkiler sonucu büzülmeye ve çökmeye başlayacaktır. Büzülme süreciyle birlikte, galaksiler birbirine yaklaşır ve evrenin yoğunluğu artar. Evren en sonunda başlangıçtaki yoğun hale dönecek ve tekrardan genişlemeye başlayacaktır. Yani evren periyodik olarak sürekli genişleyip ve büzülecektir.

Açık Evren

Evrenin yoğunluğu genişlediğinden dolayı kritik değerden daha küçük olacağından evrenin genişlemesi aynı şekilde sonsuza kadar devam edecektir. Kütle çekim etkisi evrenin genişlemesini durduramayacaktır. Açık evrende genişleme hızı zamanla yavaşlar ancak hiçbir zaman tamamen durmaz ve soğuma gerçekleşir ve büyük donma kavramı ortaya çıkar.

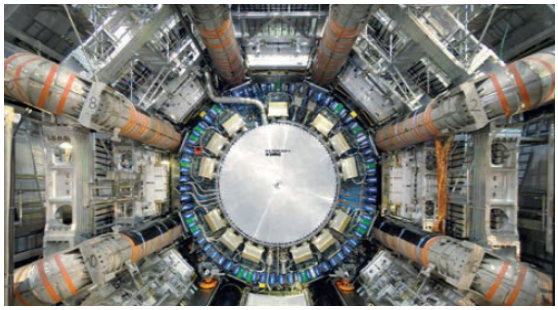
Düz Evren

Evrenin yoğunluğu kritik değere eşitse evrendeki genişlemenin sonsuza kadar devam edeceğini öngörür. Genişleme hızının zamanla azalacağı, ancak asla durmayacağı kabul edilir. Bu, evrenin "ısı ölümü" veya "büyük donma" senaryolarına yol açabilir, yani evren soğur ve enerji dağılımı homojen hale gelir.

Hızlanarak Genişleyen Evren

Evrendeki genişlemenin sürekli olarak hızlanacağı ve evrenin asla büzülmeyeceği anlamına gelir. Evren hızlanarak genişlemeye devam ettikçe, enerji yoğunluğu azalır ve evren soğur, galaksiler birbirinden daha da uzaklaşarak uzay daha boş bir hale gelir sonuçta evrenin düşük enerji yoğunluğu ile sona ereceği anlamına gelir.

Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın bir bölümü



Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nın bir bölümü

Büyük patlamayı destekleyen bulguların sayısının artması sonucunda İsviçre-Fransa sınırında bulunan yerin 100 m altında en büyüğü 27 km uzunluğunda halka şeklindeki tünellerden oluşan CERN (Avrupa Nükleer Araştırma Konseyi) de Büyük Hadron Çarpıştırıcısında çok büyük mıknatıslar kullanılarak zıt yönlerde hızlandırılan proton demetleri, ışık hızına yaklaştıkları anda çarpıştırılmaktadır. Bu çarpışmalarda ulaşılan yüksek enerjiyle beraber ortaya çıkan atom altı parçacıklar dedektörler sayesinde tespit edilerek evrenin oluşum anı ile ilgili teoriler geliştirilmeye çalışılmaktadır.

CERN'deki Büyük Hadron Çarpıştırıcısı'nda Atlas, Alice, CMS ve LHCB isimli dört adet algıç bulunmaktadır.

ATOM ALTI PARÇACIKLAR VE STANDART MODEL

ATOMALTI PARÇACIKLAR

19. Yüzyılın başlarına kadar maddenin en küçük yapı taşının atom olduğu düşünülmüştür.

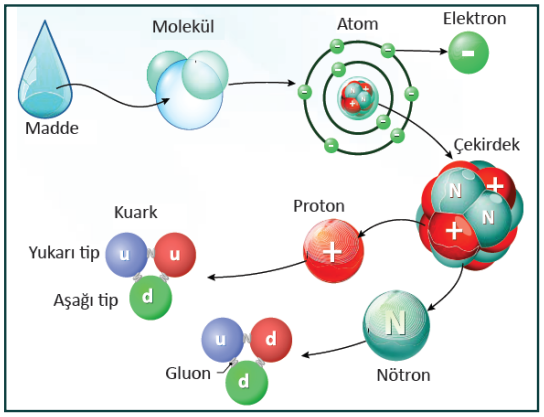
- 1897'de Thamson'un elektronu bulması,
- 1910'da Rutherford'un atom çekirdeğini ve 1918'de çekirdeğin pozitif yüklü protonlardan oluştuğunu bulması,
- 1932'de James Chadwick'in nötronu bulmasıyla

atomların temel parçacık olmadığı ve bölünebileceği anlaşılmıştır.

Atomu oluşturan temel parçacıkların proton, elektron ve nötron olduğu düşünülmeye başladığı bu dönemde;

- 1930'da Pauli çekirdeğin beta bozunumuyla ortaya çıkan nötrino'nun var olduğunu varsayımını ortaya atmış ve daha sonra 1934'te beta bozunmasının teorisini üreten Fermi kütlesi küçük olan bu parçacığa **nötrino** adını vermiştir.
- 1932'de Carl Anderson maddenin yapısında bulunmayan ve reaksiyonlar sonucu ortaya çıkan **pozitron** parçacığını buldu. Pozitrona, elektronla aynı kütleye sahip ve +e kadar yük taşıması nedeniyle **karşıt elektron** adı verilmiştir.
- 1930'da elektromanyetik etkileşimi taşıyan ve enerji taşıyan kütlesiz ışık taneciği bulunmuş adına **foton** denilmiştir.

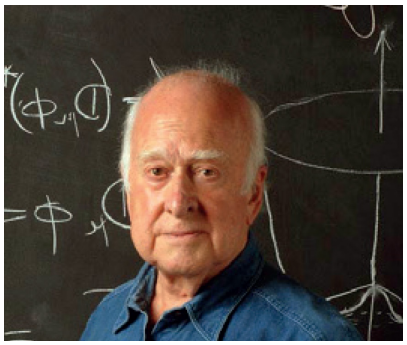
1960'lara kadar yapılan araştırmalar ve deneyler sonucunda proton, elektron ve nötronun temel parçacık olduğu düşüncesi değişmiş, bunların **kuark** adı verilen daha az sayıda ve temel düzeydeki atom altı parçacıklardan oluştuğu fikri bilim çevrelerince kabul görmüştür. Parçacık hızlandırıcılarda taneciklerin çarpıştırılması deneyleri sonucunda elektron, foton ve birkaç parçacığın dışındaki parçacıkların kuarklardan oluştuğu bulunmuştur.



Molekülden kuarklara maddenin yapı taşları

Yapılan bu deney ve araştırmaların sonucunda tüm atom altı parçacıkları tek çatı altında toplayan bir model ortaya kondu ve buna **standart model** adı verildi. Standart model, şu ana kadar bulunan parçacıkların yer aldığı ve yeni bulunabilecek parçacıkların eklenebileceği bir modeldir. Standart model, ayrıca bu parçacıkların etkileşimde olduğu kuvvetleri de açıklar.

Standart modele göre temel parçacıklar, kuarklar ve leptonlardır. Bir parçacık, başka parçacıklardan oluşmuyorsa **temel parçacık** olarak kabul edilir ve bu parçacıklara **madde parçacığı** da denir.



Peter Higgs (1929-2024)

Yapılan deneyler ve araştırmalar sonucunda proton ve nötronların çarpıştırılarak nötronun protona dönüşümü anında oluşan W^- bozonunun ,proton ve nötrondan daha fazla kütleye sahip olduğu bulunmuştur. Bu nedenle kütlede oluşan bu farktan dolayı bugüne kadar gözlenemeyen başka bir parçacık olduğu fikri öne sürülmüştür. Bu fikir 1964'te Peter Higgs tarafından ileri sürülmüş ve bu parçacığa **Higgs Parçacığı** veya **Higgs Alanı** adı verilmiştir. Higgs bozonunun da Higgs alanı ile etkileşime girerek kütle kazandığı kabul ediliyordu. 2012 yılında CERN'de yapılan deneylerde Higgs bozonunun varlığı tespit edilmiştir.

DOĞADAKİ DÖRT TEMEL KUVVET VE TAŞIYICI PARÇACIKLARI

1. Güçlü (Yeğin) Nükleer Kuvvet

Güçlü nükleer kuvvet, proton ve nötronların çekirdekte bir arada durmasını sağlayan, çekirdeğin dağılmasını engelleyen kuvvettir. İsminden de anlaşılacağı üzere temel kuvvetler içinde en büyük şiddete sahip kuvvettir. Atomun çekirdeğinde yer aldığı için etki mesafesi çok kısadır. Kuarkları birbirine bağlayan güçlü nükleer kuvvetin etkileşim parçacığına gluon denir. Gluonlar, spini 1 olan kütlesiz ve yüksüz bozonlardır.

Temel Kuvvetin Adı	Aracılık eden Alan Parçacığı	Kuvvet Şiddeti	Kuvvetin Menzili
Çekirdek Kuvveti (Yeğin Kuvvet)	Gluon	1	Kısa (1 fm)

2. Elektromanyetik Kuvvet

Elektromanyetik kuvvet, yüklü parçacıklar arasında oluşur. Bir atomun çekirdeği ile başka bir atomun elektronları arasında bağ kurabildiği gibi sonsuz uzaklıktaki yüklerle de etkileşime girebilir. Bu yüzden etki mesafesi çok uzundur. Elektromanyetik kuvvetin kuvvet taşıyıcısı fotonlardır. Fotonlar, spini 1 olan kütlesiz ve yüksüz bozonlardır.

Temel Kuvvetin Adı	Aracılık eden Alan Parçacığı	Kuvvet Şiddeti	Kuvvetin Menzili
Elektromanyetik Kuvvet	Foton	10^{-2}	Sonsuz (∞)

3. Zayıf Nükleer Kuvvet

Zayıf nükleer kuvvet, çekirdekteki kararsızlığı meydana getiren kuvvettir. Kararsız atom çekirdeğindeki radyoaktif bozunmalardan, nötrinoların ve leptonların çekirdek ile etkileşiminden sorumlu kısa menzilli bir kuvvettir. Kuarkın türünü değiştirerek nötronun protona dönüşümünü sağlar. Zayıf nükleer kuvvetin taşıyıcıları $W_{\pm}$ (yüklü) ve Z_0 (yüksüz) bozonlarıdır. Spini 1 olan bu bozonların kütlesi oldukça büyüktür.

Temel Kuvvetin Adı	Aracılık eden Alan Parçacığı	Kuvvet Şiddeti	Kuvvetin Menzili
Zayıf Kuvvet	W^+, W^-, Z^0 bozonları	10^{-5}	Kısa (10^{-5} fm)

4. Kütle Çekim Kuvveti

Kütle çekim kuvveti, yıldız ve gezegenler arasında oluşabileceği gibi küçük kütleli cisimler arasında da gözlemlenir. Temel kuvvetler içinde en küçük şiddete sahip kuvvettir. Bununla birlikte etki mesafesi oldukça uzundur. Kütle çekim kuvvetinin oluşmasında görev aldığı düşünülen taşıyıcı parçacığa graviton denir. Graviton, henüz deneysel olarak gözlemlenmemiştir.

Temel Kuvvetin Adı	Aracılık eden Alan Parçacığı	Kuvvet Şiddeti	Kuvvetin Menzili
Kütle Çekim Kuvveti	Graviton	10^{-39}	Sonsuz (∞)

NOT

1 femtometre (fm) = 10^{-15}

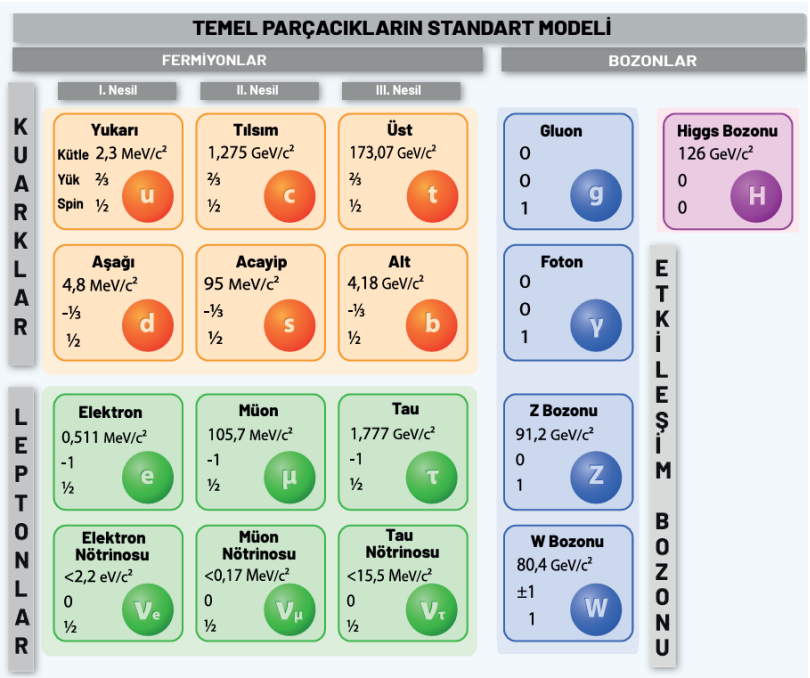
Bu dört kuvvetten üçünü (elektromanyetik, güçlü ve zayıf nükleer kuvvet) tek başlık altında toplayan kurama standart model denir.

•1961'de Sheldon Glashow (Şeldın Glassov) elektromanyetik ve zayıf nükleer kuvvetleri birleştirmeyi başarmıştır.

•1967'de Abdus Salam ve Steven Weinberg (Stivın Vaynberg) parçacıklara kütle kazandıran Higgs mekanizmasını Glashow'un kuramı ile birleştirerek elektrozayıf kuramını bugün ki haline getirmişlerdir.

•Güçlü etkileşim 1970'lerde kuarkların varlığının doğrulanmasından sonra son halini almıştır.

Standart modelin yaptığı pek çok tahmin doğrulanmıştır. Örneğin 1995'te bulunan üst kuark ve 2000'de bulunan tau nötrinosunun varlıkları standart model tarafından ileri sürülmüştü.



Parçacıklar spinine göre de sınıflandırılmaktadır. Bunlar spini tam sayılı olan Bozonlar (Fotonlar) ve spini tam sayı olmayan Fermiyonlar (Baryonlar ve Leptonlar) dır.

Bozonlar

Bozonlar tüm temel etkileşim kuvvetlerinin kuvvet taşıyıcısı olan ara parçacıklarıdır. Fermiyon parçacıkları ile etkileşen kuvvet taşıyıcı (alan) parçacıklara **bozon** adı verilir.

- Spinleri tam sayılı olan parçacıklardır.
- Foton bozondur.
- Birden fazla bozon hep beraber aynı durumda bulunabilir.

Fermiyonlar

- Spinleri tam sayılı olmayan parçacıklardır.
- Birden fazla Fermiyon hep beraber aynı durumda bulunamaz. Bir atomda bulunan elektron sayısı arttıkça elektronların daha dış yörüngelerde bulunmaya başlaması örnek olarak verilebilir.
- Baryonlar ve leptonlar fermiyonlara örnek olarak verilebilir.

Leptonlar

- Leptonlar çekirdek kuvvetleri ile etkileşmeyen parçacıklardır.
- Zayıf çekirdek kuvvetleri ile etkileşime girerler.
- Belirli bir yapıları yoktur, noktasal olduklarından Leptonlar gerçek temel parçacık olarak görülür.
- Labaratuvar ortamında belirlenen parçacıklar olup hepsi kararlı yapıda değildir.
- Leptonlar temel parçacıklar olduğundan daha küçük parçacıklara bölünemez.
- Elektron bir leptondur. Leptonlar elektronların tam sayı katına eşit yüklere eşittir. (sıfır ve – 1)
- Leptonların çoğu hafif kütledir ve tamamının spini 1/2'dir.
- Leptonlar elektron (e^-), müon (μ^-), tau (τ^-) ve bunların her birine eşlik eden bir nötrinodan (karşıt parçacık) oluşur.
- Nötrinonun kütlesi küçük ama sıfırdan farklıdır.

Lepton	Sembol	Yükü	Spini	Elektron Lepton Sayısı	Müon Lepton Sayısı	Tau Lepton Sayısı
Elektron	e^-	-1	$\frac{1}{2}$	+1	0	0
Elektron Nötrinosu	V_e	0	$\frac{1}{2}$	+1	0	0
Müon	μ^-	-1	$\frac{1}{2}$	0	+1	0
Müon Nötrinosu	V_μ	0	$\frac{1}{2}$	0	+1	0
Tau	τ^-	-1	$\frac{1}{2}$	0	0	+1
Tau Nötrinosu	V_τ	0	$\frac{1}{2}$	0	0	+1

Fotonlar

- Einstein tarafından ileri sürülen fotonların varlığı, fotoelektrik olay ile kanıtlanmıştır.
- Elektromanyetik kuvvetlere aracılık ederler ve enerji taşıyan parçacıklar olup kararlıdırlar.
- Protonun antiprotonla ve nötronun antinötronla birleşmesiyle foton oluşur.
- Fotonlar elektrik ve manyetik alandan etkilenmezler yani yüksüzdürler.
- Fotonlar durgun olamaz ve ışık hızıyla hareket ederler.
- Fotonlar temel parçacıkların en küçük grubunu oluşturur.
- Fotonların karşıt parçacığı kendileridir.

- Fotonların kütlesi yoktur fakat parçacık özelliği gösterdiği için küçük de olsa kütlesinin olduğu düşünülmektedir.
- Fotonlar atom içinde bulunmazlar. Fotonlar atomla etkileşime girip atomu uyarabilir. Hatta yeterli enerjisi varsa atomdan elektron sökebilir yani iyonlaştırır.
- Fotonların spini 1'dir.

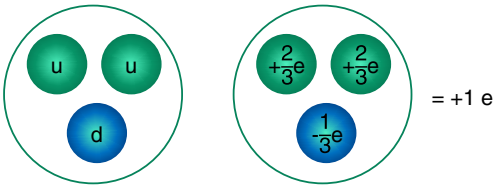
Kuarklar

- Dört temel kuvvetin tümüyle etkileşir. Kuarkların tamamı hızlandırıcı deneylerinde gözlemlenmiştir.
- Kuarklar altı türdür. Bunlar üst (u), alt (d), tılsımlı (c), acayip (s), tepe (t), taban (b) isimli kuarklardır.
- Her kuarkın bir karşıt kuarkı vardır.
- Tılsımlı, acayip, alt ve üst kuarklar yüksek enerjili çarpışmalar ile oluşabilmektedir.
- Kuarklar elektrik yükleri kesirlidir. Kuarklar doğada diğer kuarklarla birlikte gruplar halinde bulunurlar, tek başlarına bulunamazlar.
- Hadronlarla güçlü çekirdek kuvvetleri aracılığıyla etkileşime girer.

Kuark	Kuark Sembol	Yükü	Baryon Sayısı	Spini	Antikuark Sembolü	Yükü
Yukarı	u	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\bar{u}$	$-\frac{2}{3}$
Aşağı	d	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\bar{d}$	$+\frac{1}{3}$
Acayip	s	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\bar{s}$	$+\frac{1}{3}$
Sihirli	c	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\bar{c}$	$-\frac{2}{3}$
Alt	b	$-\frac{1}{3}$	$-\frac{1}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\bar{b}$	$+\frac{1}{3}$
Üst	t	$+\frac{2}{3}$	$+\frac{2}{3}$	$\frac{1}{2}$	$\bar{t}$	$-\frac{2}{3}$

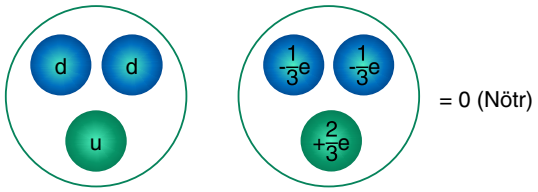
Hadronlar

- Kuarklar doğada tek başına bulunamazlar ve bunun yerine kuarklar, hadronlar olarak adlandırılan birleşik parçacıkları oluşturur. Labaratuvar ortamında belirlenebilirler.
- Hadronlar, kuark denilen iki veya üç temel parçacığın bir araya gelerek oluşturdukları birleşik sistemlerdir.
- Hadronlar kuarklardan meydana geldiğinden temel parçacık değildir.
- Bir Hadrondaki kuarkların elektrik yüklerinin toplamı her zaman bir tam sayıdır.
- Proton hadronu iki yukarı (u), bir aşağı (d) kuarktan oluşur.



Proton (uud) Proton

- Nötron hadronu bir yukarı (u), iki aşağı (d) kuarktan meydana gelir.



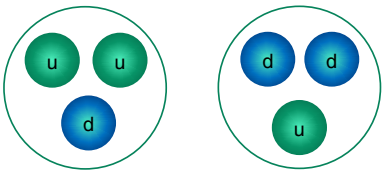
Nötron (ddu) Nötron

Hadronlar kütleleri ve spinlerine göre Baryonlar ve Mezonlar olmak üzere iki alt gruba ayrılır.

Baryonlar

Baryonlar Proton, Nötron, Lambda, Sigma, Ksi ve Omega olmak üzere altı çeşittir.

Baryonlar üç kuarktan oluşur. Yani proton (uud) ve nötronlar (udd) aynı zamanda baryondur.



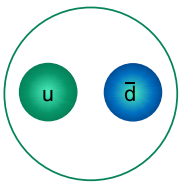
Proton baryonu Nötron baryonu (ddu)

- Baryonların kütlesi protonun kütlesine eşit veya daha büyüktür.
- Proton dışındaki tüm baryonlar bozunduğunda proton meydana gelir.
- Baryonlar tam sayı artı yarım spinli parçacıklardır. Yani baryonların spinleri kesiklidir.
- Omeganın spini $\frac{3}{2}$, diğer baryonların spini $\frac{1}{2}$ dir.
-

Baryon adı	Simge	Baryon Sayısı	Yükü	Spini
Proton	p	+1	+1	$\frac{1}{2}$
Nötron	n	+1	0	$\frac{1}{2}$
Lambda	Λ^0	+1	0	$\frac{1}{2}$
Sigma	$\Sigma^+, \Sigma^0, \Sigma^-$	+1	+1, 0, -1	$\frac{1}{2}$
Ksi	Ξ^0, Ξ^{-1}	+1	0, -1	$\frac{1}{2}$
Omega	Ω^{-1}	+1	-1	$\frac{3}{2}$

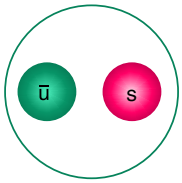
Mezonlar

- Bir kuarkla bir karşıt kuarktan oluşan parçacıklara mezon adı verilir.
- Mezonların tümü sıfır veya tam sayı (0 veya 1) spinli olup güçlü parçacıklardır.
- Mezonlar kararsızdır ve hızla diğer parçacıklara bozunurlar. Mezonlar bozunduğunda elektron, pozitron, nötrino ve foton meydana gelir.
- Mezonların kütlesi genellikle proton ve elektronun kütlesi arasında bir değerdedir.
- Mezonlar Pion, Kaon, Eta ve bunların karşıt parçacıkları olarak çeşitlendirilebilir.



$(+\frac{2}{3}e) + (+\frac{1}{3}e) = +e$

Pion ($u\bar{d}$)

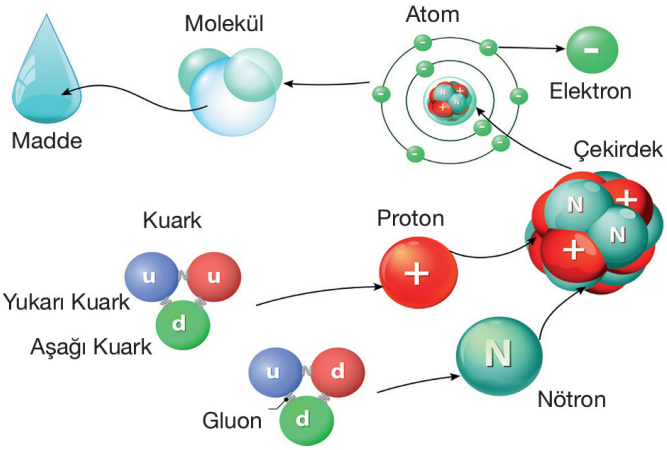


$(-\frac{2}{3}e) + (-\frac{1}{3}e) = -e$

Kaon ($\bar{u}s$)

	Sembol	Yükü	Spin
Pion	π^+, π^0, π^-	+1, 0, -1	0
Kaon	K^+, K^0_S, K^0_L	+1, 0, -1	0

Madde Oluşumu



Madde Oluşumu (Temsili)

Büyük patlama teorisine göre evrenin başlangıç anı, büyük patlamanın gerçekleştiği andır. Atomdan küçük sıkışmış enerjinin patlamasıyla madde oluşum süreci başlamıştır. Patlamadan sonra her yer atom altı parçacıklarla yani kuark, antikuark, elektron ve diğer parçacıklar ile dolmuştur.

Standart modeldeki parçacıkların bazıları kütleliyken bazıları kütlesizdir. Standart model bu durumu Higgs mekanizmasıyla açıklar. Tüm uzayın Higgs alanıyla dolu olduğu varsayılır. Fermiyonlar, W ve Z bozonları uzayda hareket ederken bu alanla etkileşerek kütle kazanır. Fotonun ve gluonların kütlesiz olmasının sebebi ise Higgs alanıyla etkileşmemeleridir. Etkileşime aracılık eden parçacığa Higgs bozonu ya da Higgs parçacığı denir.

Kuarklar birbirine gluonlar ile bağlanarak proton ve nötronları (çekirdeği) oluşturmuştur. Elektronların çekirdeğe bağlanmasıyla atom oluşmuştur. Farklı veya benzer atomlar birleşerek molekülleri, moleküller de maddeyi oluşturmuştur.

Standart modele göre maddenin en küçük yapı taşı kuarklar ve leptonlar olup kararlı haldeki 1. nesil maddeyi aşağı ve yukarı kuarklar oluşturur.

Madde ve Antimadde (Karşıt madde)

Her maddenin veya parçacığın karşıtı vardır. Bu karşıt maddelere **antimadde**, karşıt parçacıklara **antiparçacık** denir. Örneğin protonun karşıt parçacığı antiproton, nötronun karşıtı antinötrondur.
Antimadde kavramı ilk kez 1928 yılında Paul Dirac (Pol Dirak) tarafından ortaya atıldı. Dirac, elektronun karşıtı olan bir parçacık tespit etti. Elektronla karşıtını kıyasladığında bunların kütle, spin ve yük büyüklüklerinin aynı fakat yüklerinin zıt işaretli olduğunu belirledi.
İleriki yıllarda bu kuralın tüm parçacıklar için geçerli olduğu ortaya koyulacaktı. 1932 yılında Carl Anderson (Karl Endırsın) tarafından elektronun karşıt parçacığı deneysel olarak bulundu ve elektronun karşıt parçacığına **pozitron** dendi.

Parçacık			Antiparçacık		
Adı	Sembol	Yük	Adı	Sembol	Yük
Elektron	e^-	−1	Pozitron	e^+	+1
Proton	p+	+1	Anti proton	$\overline{p}$	−1
Nötron	n	0	Anti nötron	$\overline{n}$	0
Nötrino	ϑ	0	Anti nötrino	$\overline{\vartheta}$	0

Bazı parçacık ve anti parçacıklar

Parçacık ile antiparçacık çarpıştırıldığında Einstein'in $E = m \cdot c^2$ yasasına uygun olarak $2mc^2$ büyüklüğünde enerjili bir foton yayımlayarak yok olmaktadır.
Bir madde ile karşıt madde karşılaştığında, parçacıklar ile karşıt parçacıklar birbirlerini yok edebilir.
Elektron ve onun karşıt parçacığı pozitron çarpıştığında birbirlerini yok eder ve "Gamma Işını" (γ) olarak enerjiye dönüşür.
Temel parçacıklar antiparçacıklar ile bir araya geldiğinde foton oluşur yani enerjiye dönüşürler.

Parçacık + Antiparçacık ⟷ Foton
Elektron (e^-) + Pozitron (e^+) ⟷ Foton
Proton (p) + Karşıt proton ($\overline{p}$) ⟷ Foton
Nötron (n) + Karşıt nötron ($\overline{n}$) ⟷ Foton

Bu buluş ile günümüzde pek çok alanda kullanılan teknolojik cihazlar üretilmiştir. Tıp alanında PET cihazı, pozitron elektron çarpıştırılmasıyla ortaya çıkan ışının doku üzerine gönderilmesi prensibiyle çalışır. Bu cihaz kullanılarak kanser hücreleri tespit edilir.

KARARLI VE KARARSIZ ATOMLAR, RADYOAKTİF IŞIMALAR

RADYOAKTİVİTE

Kararsız hâldeki atom çekirdeklerinin tanecik veya elektromanyetik ışın yayarak kararlı hâle geçmesi olayına **radyoaktivite** denir.

Bir başka ifadeyle ''Atom çekirdeğinin tanecikler veya elektromanyetik ışınlar yayarak bozunması olayına **radyoaktivite**, yapılan ışımaya ise **radyoaktif ışıma** denir.''

Kendiliğinden veya dışarıdan bir etkiyle bozunuma uğrayabilen atom çekirdeklerine **radyoaktif çekirdek**, bu çekirdeklerin oluşturduğu maddelere ise **radyoaktif madde** denir.

Radyoaktif bozunma kendiliğinden gerçekleşirse doğal radyoaktiflik, dışardan bir etki ile gerçekleşirse **yapay radyoaktiflik** adını alır.

- 1896 yılında Henri Becquerel (Henri Bekerel) uranyum tuzu kristallerinin hiçbir dış uyarı olmaksızın ışıma yaptığını ve bu ışımanın bir fotoğraf plağını kararttığını tespit etti.
- Radyoaktivite üzerinde çalışmalar yapan Pierre Curie ve Marie Curie 1898 yılında radyum ve polonyum elementlerini keşfetmişlerdir.
- Hastalıkların teşhisinde kullanılan Röntgen ışınları (X-ışınları) Wilheim Röntgen tarafından indüksiyon akımı yardımıyla bir tüpten yüksek gerilime sahip elektrik akımı geçirdiğinde tüpten uzakta bulunan cam kavanoz içinde parıltılar gözlemlemiştir. Bu tür parıltılara o zamana kadar radyoakivitenin bilinmemesinden dolayı **X-ışınları** denilmiştir.

KARARLI VE KARARSIZ DURUMDAKİ ATOMLARIN ÖZELLİKLERİ

Bir element atomunun çekirdeği ile ilgili kavramlar ve sembolleri aşağıdaki gibidir.

Atom Numarası (Z): Atom çekirdeğindeki proton sayısına eşittir.

Nötron Sayısı (n): Atom çekirdeğindeki nötron sayısına eşittir.

Kütle Numarası (A): Atom çekirdeğindeki proton ve nötron sayılarının toplamına eşittir.

$$A = p + n$$

Demir atomunun gösterimi $^{A}_{Z}X \Rightarrow {}^{56}_{26}Fe$ şeklinde yazılır.

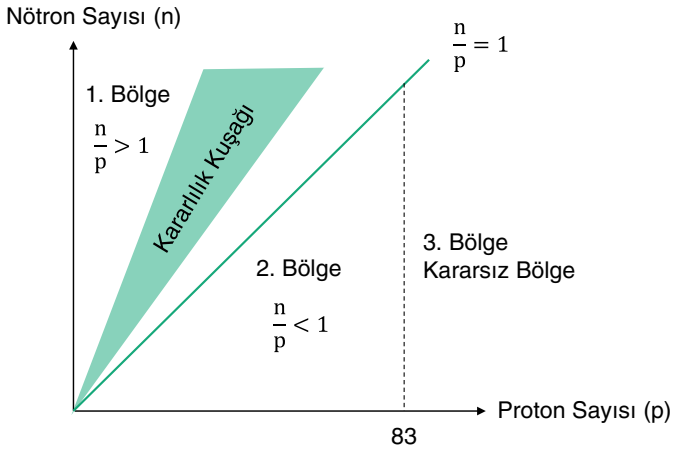
Buna göre demir atomunun proton sayısı 26 ve kütle numarası 56 olduğuna göre nötron sayısı 30 olur.

Bir atomun çekirdeğinde proton ve nötronlar arasında güçlü çekirdek kuvvetleri çekim etkisi oluştururken, protonlar arasında oluşan Coulomb kuvveti itme etkisi oluşturur.

Çekirdek kuvveti ve Coulomb kuvveti birbirini dengelediğinde atom çekirdeği bir bütün olarak korunur ve bu durumdaki atomlara **kararlı atomlar** denir.

- Kararlı çekirdeklerde nükleon başına düşen bağlanma enerjisi yüksektir. Çekirdek kuvveti ve Coulomb kuvvetinin dengesiz olmasından dolayı çekirdeği zamanla dağılan atomlara **kararsız atomlar** denir.
- Kararsız çekirdeklerde nükleon başına düşen bağlanma enerjisi düşüktür.
- Nötron sayısı proton sayısından fazla olan kararsız çekirdekler, nötronlarını protonlara; proton sayısı nötron sayısından fazla olan kararsız çekirdekler ise protonlarını nötronlara dönüştürerek kararlı hâle geçer.
- Atom numarası 20'den küçük olan kararlı elementlerde nötron/proton oranı yaklaşık 1'dir.
  - Ağır elementler, nötron/proton oranı belli bir değere (kararlı hâle) gelene kadar alfa, beta ve gama ışıması yapar.
  - Atom numarası 83 ve 83'ten büyük olan atomlarda kararlı element yoktur. Bu atomlar alfa, beta ve gama ışıması yaparak kararlı hâle geçebilir.

Kararlılık kuşağı kararlı elementlerin yoğun olarak bulunduğu bölgedir. n/p oranı 1'e yakındır.



Kararlılığın $\frac{n}{p}$ oranına göre değişimi

Kararlı kuşağının üstünde; yani $\frac{n}{p} > 1$ olan bölgedeki çekirdekler beta ışıması (β^-) yaparak karalı hale geçerler.

- Kararlı kuşağının altındaki; yani $\frac{n}{p} < 1$ olan bölgelerde çekirdekler pozitron ışıması yaparak yada elektron yakalayarak karalı hale geçerler.
- Atom numarası 83'den büyük olan elementler yani 3. bölgede alfa ışıması yaparak kararlı hale geçerler.

$\frac{n}{p} > 1$ ve $\frac{n}{p} < 1$ olan çekirdekler kararsız olup radyoaktiftir.

RADYOAKTİF BOZUNMA

Kararsız çekirdekler, alfa ile beta bozunumu ve bu bozunumları takip eden süreçte gama bozunumu yaparak kararlı hâle geçer. Bu süreç radyoaktif bozunma veya radyoaktif parçalanma olarak adlandırılır.

Kararsız çekirdek, radyoaktif parçalanma sonucunda kararlı başka bir çekirdeğe dönüşür.

Alfa (a) Bozunumu

Alfa bozunumu, atom numarası büyük olan ağır elementlerin, Helyum atomu çekirdeği (^4_2He) yayınlayarak başka kararlı bir çekirdeğe dönüşmesi olayıdır.

Alfa parçacığı yayınlayan atomun atom numarası 2, kütle numarası 4 azalır.

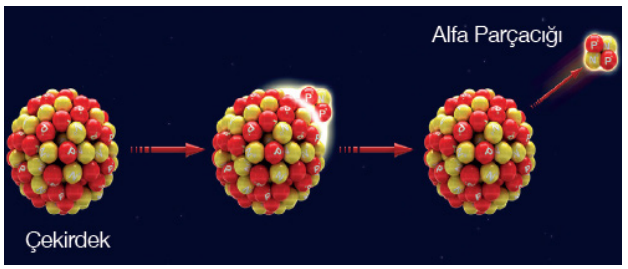
Bozunum denklemi,

$$\underbrace{^A_Z X}_{\text{Ana çekirdek}} \rightarrow \underbrace{^{A-4}_{Z-2} Y}_{\text{Ürün çekirdek}} + \underbrace{^4_2 He}_{\alpha \text{ parçacığı}}$$

şeklindedir.

Denklemde X kararsız çekirdeği, Y oluşan yeni kararlı çekirdeği gösterir. Alfa parçacığı, enerjisi çok çabuk kaybolduğundan fazla yol alamaz. Bu yüzden alfa parçacığı, bir kâğıt sayfasının içinden geçemez.

Bozunma sırasında atom, enerjisinin bir kısmını alfa parçacığına aktaracağından atomun enerjisi azalır.



Alfa parçacığı yayınlama modeli

Uranyum (U) atomu alfa yayınlayarak, Toryum (Th) atomunu oluşturur.

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{238-4}_{92-2}Th + ^4_2He$$

$$^{238}_{92}U \rightarrow ^{234}_{90}Th + ^4_2He$$

Beta (β) Bozunumu

Beta bozunumu, kararsız çekirdeğin kararlı hâle geçebilmesi amacıyla fazla nötrondan kurtulmak için elektron (e^-), fazla protondan kurtulmak için pozitron (e^+) fırlatması olayıdır.

β^- bozunumu

β^- bozunumunda nötron; bir proton, bir elektron ve bir antinötrinoya ($\bar{\vartheta}$) bozunur.

Çekirdeğin nötron sayısı 1 azalır, atom numarası (proton sayısı) 1 artar, kütle numarası değişmez.

β^- bozunumu $\rightarrow$ $n \rightarrow p + e^- + \bar{\vartheta}$

Bozunum denklemi $\rightarrow$ $\underbrace{{}^{A}_{Z}X}_{\text{Ana çekirdek}} \rightarrow \underbrace{{}^{A}_{Z+1}Y}_{\text{Ürün çekirdek}} + \underbrace{e^-}_{\beta^- \text{ parçacığı}} + \underbrace{\bar{\vartheta}}_{\text{Anti nötrino}}$

Karbon (C) atomu beta bozumu sonucunda, azot (N) atomunu oluşturur.

$${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{6+1}N + e^- + \bar{\vartheta}$$
$${}^{14}_{6}C \rightarrow {}^{14}_{7}N + e^- + \bar{\vartheta}$$

β^+ Bozunumu

β^+ bozunumunda proton; bir nötron (n), bir pozitron (e^+) ve bir nötrinoya (ϑ) bozunur.

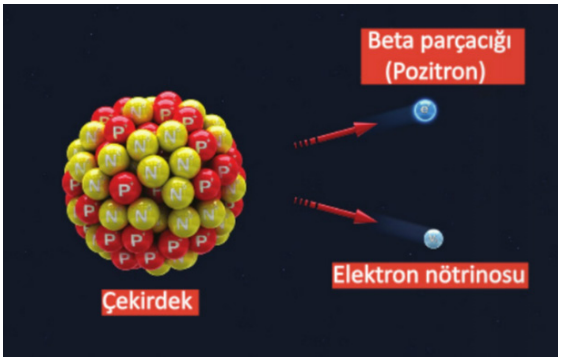
Çekirdeğin atom numarası (proton sayısı) 1 azalır, nötron sayısı 1 artar, kütle numarası değişmez.

β^+ bozunumu $\rightarrow$ $p \rightarrow n + e^+ + \vartheta$

Bozunum denklemi $\rightarrow$ $\underbrace{{}^{A}_{Z}X}_{\text{Ana çekirdek}} \rightarrow \underbrace{{}^{A}_{Z-1}Y}_{\text{Ürün çekirdek}} + \underbrace{e^+}_{\beta^+ \text{ parçacığı}} + \underbrace{\vartheta}_{\text{Nötrino}}$

Azot (N) atomu pozitron yayınladığında, karbon (C) atomunu oluşturur.

$${}^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{7-1}C + e^+ + \vartheta$$
$${}^{12}_{7}N \rightarrow {}^{12}_{6}C + e^+ + \vartheta$$



Beta (β^+) bozunumu modeli

Gama (γ) Bozunumu

Alfa ya da beta bozunumuna uğramış bir çekirdek uyarılmış haldedir. Bu çekirdekler ikinci defa bozunuma uğrayarak enerjilerinin bir kısmını foton yayınlayarak dışarıya vermesi olayına gama bozunumu denir. Bu nedenle gama ışınlarının nüfuz etme gücü çok yüksek olup bu ışınları durdurmak için kurşun levha kullanılır.

Gama bozunumunda çekirdeğin atom numarası ve kütle numarası değişmez.

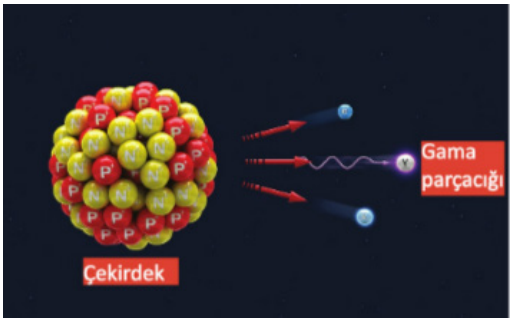
Bozunum denklemi $\rightarrow \underbrace{{}^{A}_{Z}X}_{\text{Ana çekirdek}} \rightarrow \underbrace{{}^{A}_{Z}X}_{\text{Ürün çekirdek}} + \underbrace{\gamma}_{\gamma\text{ ışını}}$

Bozunuma uğramış ${}^{12}_{5}B$ çekirdeği uyarılmış ${}^{12}_{6}C^{+}$ çekirdeğine dönüşür.

${}^{12}_{6}C^{+}$ çekirdeği de gama bozunumu sonucu taban enerji seviyesine geçerek kararlı hale geçmiş olur.

$${}^{12}_{7}B \rightarrow {}^{12}_{6}C^{+} + e^{-} + \bar{\vartheta}$$

$${}^{12}_{6}C^{+} \rightarrow {}^{12}_{6}C + \gamma$$



Beta (β^{-}) bozunumundan sonra olan gama bozunumu modeli

FİSYON, FÜZYON VE RADYASYON

NÜKLEER FİSYON (BÖLÜNME)

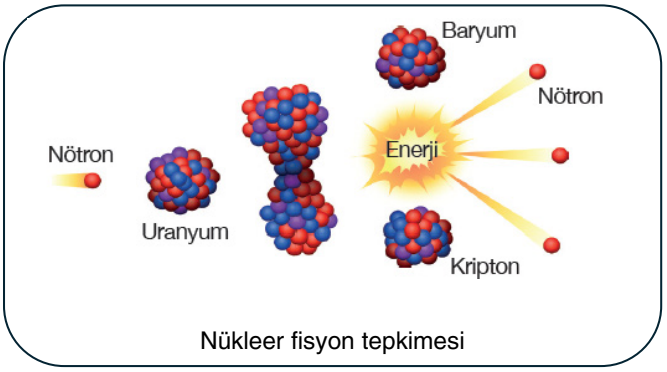
Atom çekirdeğinin parçalanması ile çok büyük bir enerjinin açığa çıkmasını sağlayan olaya fisyon denir.

Nükleer fisyon, nötronla bombardıman edilen kütle numarası büyük atom çekirdeklerinin parçalanarak daha küçük kütle numaralı iki veya daha fazla farklı atom çekirdeğine dönüşmesi olayıdır.

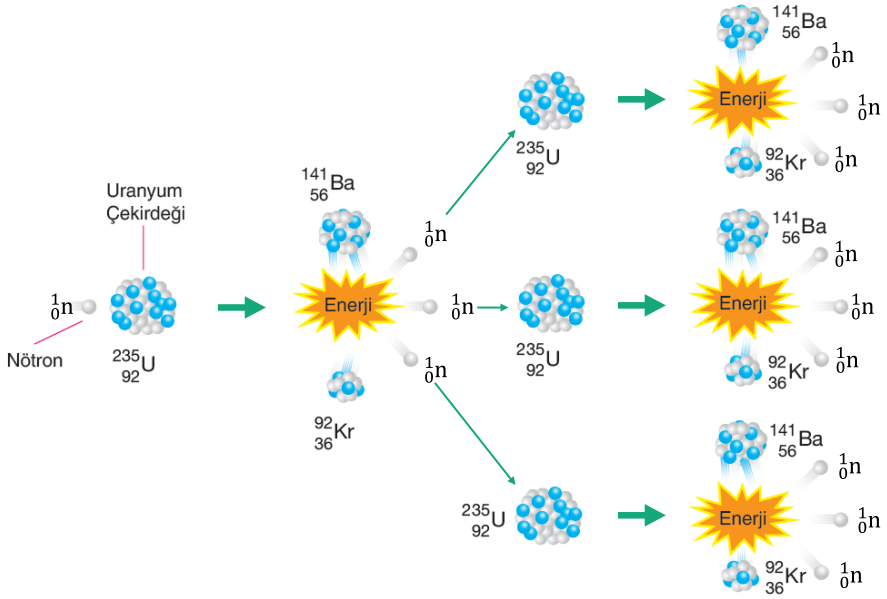
Radyoaktif çekirdekler parçalandığında çok güçlü bir enerji açığa çıkar. Uranyum elementi nötron $({}^{1}_{0}n)$ ile bombardıman edildiğinde, uranyum elementinin (${}^{235}_{92}U$), baryum (Ba) ve kripton (Kr) çekirdeklerine dönüşüm reaksiyonu,

${}^{235}_{92}U + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{141}_{56}Ba + {}^{92}_{36}Kr + 3\cdot({}^{1}_{0}n)$ şeklindedir.

Bu tepkimeye göre nötronlar radyoaktif atomlara ait çekirdekler tarafından yutulursa atom çekirdeği kararsız hale geçer ve iki parçaya ayrılır. Bu sırada üç tane nötron açığa çıkar. Bu açığa çıkan üç nötronda başka çekirdekler tarafından yutulursa aynı şekilde çekirdekler tekrar bölünerek zincirleme bir reaksiyonun başlamasını sağlar.



Nükleer fisyon tepkimesi



Zincirleme nükleer fisyon tepkimesi

NÜKLEER FÜZYON (BİRLEŞME)

Hafif atom çekirdeklerinin birleşerek ağır atom çekirdekleri oluşturmasına **füzyon** denir.

Nükleer füzyon, atom numarası küçük olan iki hafif elementin birleşerek atom numarası daha büyük ve daha ağır bir element oluşturması olayıdır.

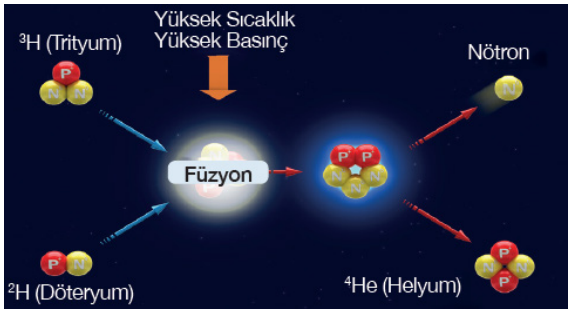
Hidrojen izotopları olan döteryum ($^{2}_{1}H$) ile trityum ($^{3}_{1}H$) elementinin birleşerek helyum ($^{4}_{2}He$) elementini oluşturma tepkimesi

$^{2}_{1}H + ^{3}_{1}H \rightarrow ^{4}_{2}He + ^{1}_{0}n$ şeklindedir.

Füzyonda açığa çıkan enerji, fisyon da açığa çıkan enerjiden çok daha fazladır. Füzyon reaksiyonunun oluşabilmesi için yüksek basınç ve sıcaklığa ihtiyaç vardır. Bu nedenle füzyon tepkimeleri Güneş'in ve diğer yıldızlar da gerçekleşir. Güneş enerjisinin büyük bir kısmını füzyon tepkimeleriyle üretir. Güneşin çekirdeğinde her saniyede 600 milyon ton

Hidrojen, füzyon yoluyla Helyuma dönüşür ve bu dönüşüm sonucunda büyük bir enerji ortaya çıkar.

Bilim insanları füzyon reaksiyonlarından yararlanmak için çalışmalar yapmaktadır.



Nükleer füzyon tepkimesi

NÜKLEER ENERJİ İLE ÇALIŞAN SİSTEMLER

Nükleer Enerji Santralleri

Nükleer Enerji Santrali

Atom çekirdeğinin parçalanması (fisyon) veya atom çekirdeklerinin birleşmesi (füzyon) sonucunda büyük bir enerji ortaya çıkar.

Güneş'in enerji kaynağını, hidrojen atomlarının birleşerek helyuma dönüşmesi oluşturur. Diğer bir deyişle Güneş'in nükleer enerjisi, füzyon olayı ile sağlanır.

Nükleer santral tesislerinde uranyum ve toryum gibi radyoaktif elementlerin çekirdekleri zincirleme fisyon ile kontrollü şekilde parçalanır ve buradan yüksek miktarda nükleer enerji elde edilir. Fisyon olayı ile açığa çıkan nükleer enerjiyi elektrik enerjisine çeviren sistemlere nükleer reaktör adı verilir.

Nükleer reaktörlerde enerji, kontrollü bir şekilde zincirleme fisyon parçalanması ile elde edilir. Buradan elde edilen nükleer enerji, elektrik enerjisine dönüştürülür. Bilim insanları enerjiyi ucuza ve çevreyi kirletmeden üretebilmek için çalışmalar yapmaktadır.

İnsanlığın yararına kullanıldığında nükleer enerjinin bilime ve teknolojiye önemli katkıları vardır. Nükleer enerji, tıpta hastalıkların teşhis ve tedavi süreçleri, jeoloji ve arkeolojide yaş tayini, uzay teknolojisi, uçak ve deniz altı sanayisi vb. nükleer enerjinin kullanıldığı alanlara örnek gösterilebilir.

Biliyor muydunuz?

Bilim insanları, Dünya'da yapay füzyon olayı ile enerji üretme çalışmalarını sürdürmektedir. Güneş'in yüzeyi yaklaşık 5500 °C, çekirdeği ise 15,6 milyon °C sıcaklık değerindedir.

Çin'de **''Deneysel Gelişmiş Süper İletken Tokamak Reaktöründe''** nükleer füzyon tepkimesi deneyleri yapılmaktadır. Bu deneylerde Güneş'in sıcaklığının yaklaşık beş katına, 70 milyon °C sıcaklığa, ulaşılmıştır. Bu sıcaklık, yaklaşık 1056 saniye sürdürülebilmiştir.

Atom Bombası

Nükleer enerji, barışçıl amaçlarla kullanılmadığında büyük felaketlere yol açabilmektedir. Atom bombasını ilk yapan ve kullanan ülke ABD olmuştur. 1945 yılında Japonya'nın Hiroşima şehrine atılan ilk bomba, uranyumdan elde edilmiştir. İlk bombadan üç gün sonra Nagazaki şehrine atılan atom bombası plütonyum elementinden üretilmiştir. Her iki atom bombası da büyük bir felaket doğurmuştur. Uranyum ve plütonyum elementlerinin parçalanmasıyla (fisyon) yayılan radyasyon ve sıcaklık, binlerce insanın ölmesine sebep olmuş, radyasyonun etkileri nesiller boyu devam etmiştir. Birçok hastalık türü ortaya çıkmış, milyonlarca insan ya sakat kalmış ya da sakat doğmuştur. İnsanlık için büyük yıkım doğuran nükleer silahları geliştirme çalışmaları bu tarihten sonra da devam etmiştir.

ABD, 1952 yılında atom bombasından çok daha yıkıcı olan hidrojen bombasını (füzyon) geliştirmiş ve 1954 yılında Büyük Okyanus'ta denemiştir. Hidrojen bombasının tahrip gücü atom bombasından çok daha fazladır. Kuzey Kore Cumhuriyeti'nin yaptığı hidrojen bombası denemesinin etkisinin, 6,3 şiddetinde deprem etkisine sahip olduğu belirtilmiştir. Bunun yanında hidrojenden enerji üretilmekte olup daha ucuza ve güvenilir olması hususunda bilim insanları tarafından çalışmalar yapılmaktadır.

Günümüzde nükleer silahlanma, bu silahların azaltılması için gösterilen bütün çabalara rağmen devam etmektedir. Dünyada nükleer silahsızlanmanın, dünya barışı ve insanlığın geleceği için çok önemli olduğu gerçektir.

Atom bombasının etkisi

Hidrojen bombasının etkisi

RADYASYONUN CANLILAR ÜZERİNDEKİ ETKİSİ

Radyasyon, bir kaynaktan elektromanyetik dalgalar veya parçacıklar biçimindeki enerji salınımı veya aktarımıdır. Atom çekirdeğinin kendiliğinden radyasyon yayması doğal radyoaktiflik, dışarıdan bir etki ile radyasyon yayması ise yapay radyoaktiflik olarak adlandırılır. Maruz kalınan radyasyonun çok büyük bir bölümü, doğal radyasyon kaynaklarından gelir.

Yayılan radyasyonun türüne veya etkisine göre radyasyon ikiye ayrılır.

İyonlaştırıcı Olmayan Radyasyon

İyonlaştırıcı olmayan radyasyon ikaz işareti

İyonlaştırıcı radyasyona göre enerjisi çok daha azdır. İyonlaştırıcı olmayan radyasyonun doğal kaynağı Güneş olup bu radyasyon türü canlı sağlığı için tehdit oluşturmamaktadır. Güneş'ten yayılan radyo dalgaları, mikrodalgalar, kızılötesi ışınlar ve görünür ışınlar iyonlaştırıcı olmayan radyasyondur. Cep telefonu, mikrodalga fırın, televizyon gibi birçok teknolojik alet iyonlaştırıcı olmayan radyasyon yayar. Teknolojik aletlerden uzak durmak, iyonlaştırıcı olmayan radyasyona maruz kalmayı azaltır.

İyonlaştırıcı Radyasyon

İyonlaştırıcı radyasyon ikaz işareti

İyonlaştırıcı radyasyonla günlük hayatta sıkça karşılaşılır. İyonlaştırıcı radyasyon; yer kabuğunda bulunan elementlerde, toprakta yetişen gıda maddelerinde, kayaçlarda, suda ve havada bulunduğu gibi uzaydan gelen kozmik ışınlar, Güneş'ten gelen morötesi ışınlar, X ışınları ve gama ışınları da iyonlaştırıcı radyasyondur. Uranyum, toryum, radyum, aktinyum gibi radyoaktif elementlerden yayılan alfa ve beta parçacıkları, gama ve X ışınları iyonlaştırıcı radyasyondur. Tıpta röntgen, nükleer görüntüleme, radyoterapi gibi uygulamalarda bilimsel çalışma ve araştırmalarda X ışınları ve gama ışınlarından faydalanılır. İyonlaştırıcı radyasyon öncelikle hücreyle etkileşir ve DNA' da tahribat oluşturur sonuçta hücrenin ölümüne yol açabilir. İyonlaştırıcı radyasyonun biyolojik etkisini tedavi edici veya azaltıcı herhangi bir ilaç olmadığından maruz kalınmaması en önemli tedbirdir. Radyasyon dozunun belirlenen sınır değerleri aşmaması için gerekli tedbirlerin alınması sağlık açısından önemli olup koruyucu kıyafetler, eldivenler ve maskeler radyasyona karşı alınacak önlemlerdendir.

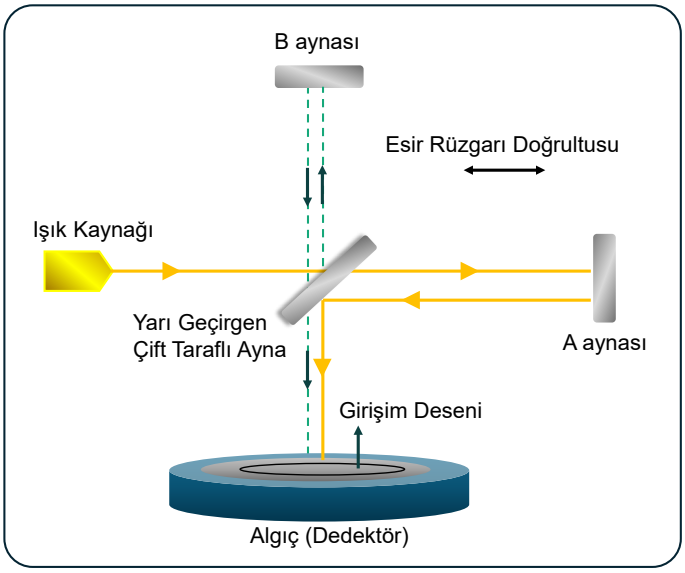
ÖZEL GÖRELİLİK (EİNSTEİN'İN TEMEL POSTÜLALARI)

MİCHELSON-MORLEY DENEYİ

Michelson ve Morley Deneyi, 19. yüzyılın sonlarında ışık taşıyan esir (ether) fikrini test etmek için tasarlanmıştı. O dönemde elektromanyetik dalgaların yayılması için mekanik dalgalar gibi bir ortama ihtiyaç duyulduğu düşünülüyordu ve bu ortam "esir" olarak adlandırılıyordu. Bu deney, esirin varlığını kanıtlamak amacıyla Michelson girişimölçeri kullanılarak gerçekleştirildi.

Deney, aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Girişimölçer Tasarımı: Michelson ve Morley, bir kaynaktan çıkan ışık demetini yarı geçirgen bir ayna ile iki eşit parçaya ayırarak, farklı yönlere yönlendirdi. Bir kısmı tam yansıtıcı bir aynaya yönlendirilirken, diğeri başka bir tam yansıtıcı aynaya yönlendirildi. Ardından bu ışık demetleri dedektör üzerinde yeniden birleştirildi.
- Deneysel Beklenti: Esir teorisine göre, Dünya'nın Güneş etrafındaki hareketi, esir içinde dalgalanmalara neden olmalıydı. Eğer esir varsa, Dünya'nın hareket yönüne göre ışık hızında bir değişiklik olacağı beklentisi vardı. Michelson ve Morley, bu değişiklikleri ölçerek esirin varlığını kanıtlamayı hedefledi.



Michelson interferometresi

- Deney Sonuçları: Michelson girişimölçerini kullanarak yapılan deneyde, ışık hızında herhangi bir değişiklik veya girişim deseninde kayma gözlemlenmedi. Bu sonuç, esirin varlığını destekleyecek hiçbir kanıt olmadığını gösterdi. Deney, farklı koşullarda ve çeşitli bilim insanları tarafından tekrarlandı, ancak sonuçlar aynı kaldı.

  Bu deneyin sonuçları, aşağıdaki önemli bulguları ortaya koydu:

  1. **Esirin ölçülebilir özelliklerinin olmadığını ve ışığın yayılması için bir ortam gerekmediğini gösterdi.**
  2. **Boşlukta ışık hızının, kaynak ve gözlemcinin hareketinden etkilenmediğini ve tüm referans sistemlerinde aynı değere sahip olduğunu ortaya koydu.**

Michelson-Morley Deneyi, fizik tarihinde önemli bir dönüm noktası olarak kabul edilir ve Albert Einstein'ın Özel Görelilik Teorisi gibi sonraki fiziksel gelişmelere zemin hazırladı.

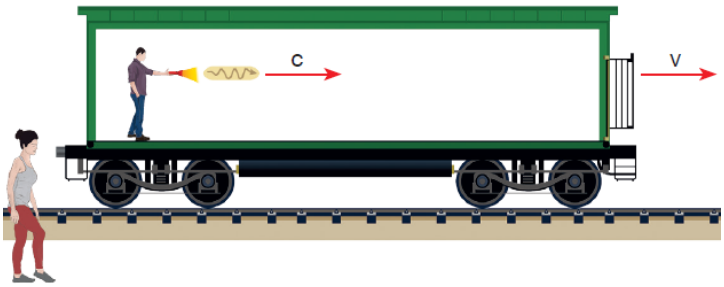
Bu deney, klasik fizik yasalarının yetersizliğini ve modern fiziğin doğuşuna katkıda bulundu. Ayrıca, Michelson ve Morley'nin çalışmaları, bilimsel araştırmalarda sabır ve kararlılığın önemini göstermiştir.

Albert Michelson
(1852-1931)

Edward W.Morley
(1838-1923)

Michelson, hassas optik aletlerle yaptığı çalışmalar nedeniyle 1907'de Nobel Fizik Ödülü'nü kazandı.

ÖZEL GÖRELİLİK KURAMI

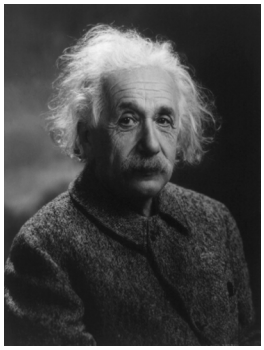


v hızıyla ilerlemekte olan kapalı bir vagonda ışık atması gönderen bir kişi ve vagon dışındaki durgun gözlemci

Bir vagon, v hızıyla ilerlemekte olsun.

Vagondaki gözlemci, bir ışık atması gönderdiğinde bu atma, vagondaki gözlemciye göre c hızıyla ilerlemektedir. Newton mekaniğine göre atmanın hızının büyüklüğü, vagonun dışındaki durgun gözlemciye göre (c + v) olmalıdır.

Michelson-Morley deneyinin de ortaya koyduğu gibi ışığın boşluktaki hızı sabittir, kaynak ve gözlemcinin hızından etkilenmez. Mekanik dalgaların aksine ışık, her zaman aynı hızla ilerler.



Albert Einstein
(1879-1955)

Özel görelilik, Albert Einstein'ın 1905'te ortaya attığı bir teoridir ve temel olarak iki postüla üzerine kuruludur.

• **Fizik Yasalarının Evrenselliği:** Tüm eylemsiz referans sistemlerinde fizik yasaları aynıdır. Bu, sabit hızla hareket eden ya da durağan bir gözlemci için fiziksel olayların aynı şekilde çalıştığı anlamına gelir.

• **Işık Hızının Sabitliği:** Işık hızı ($c = 3 \cdot 10^8$ m/s), ışık kaynağının ve gözlemcinin hızından bağımsızdır. Tüm eylemsiz referans sistemlerinde ışık, boşlukta her zaman aynı hızda yayılır.

Bu postülalar, Newton mekaniğiyle çelişir çünkü Newton'a göre hareket eden bir nesneden yayılan dalganın hızı, nesnenin hızına bağlıdır. Ancak Michelson-Morley deneyinin gösterdiği gibi, ışık hızı gözlemcinin veya kaynağın hareketinden etkilenmez.

Einstein, bu olgunun zamanın farklı gözlem çerçevelerinde farklı şekilde akmasından kaynaklandığını öne sürmüştür.

Özel görelilik teorisi, evrenin temel yasalarının her eylemsiz gözlemci için aynı olduğunu ve ışık hızının evrensel bir sabit olduğunu belirtir. Bu, ışık hızının farklı referans çerçevelerinde neden aynı göründüğünü ve zamanın göreliliğini açıklar.

ÖZEL GÖRELİLİK (GÖRELİ ZAMAN, GÖRELİ UZUNLUK VE KÜTLE ENERJİ EŞDEĞERLİĞİ)

GÖRELİ ZAMAN

Einstein'ın özel görelilik teorisine göre, zaman aralığı ölçümleri ölçümün yapıldığı referans sistemine bağlıdır ve ışık hızı tüm eylemsiz referans sistemlerinde sabittir. Bu yaklaşım, farklı gözlem çerçevelerinde zamanın farklı akabileceği düşüncesini içerir.

Einstein'ın ortaya koyduğu özel görelilik teorisi düşünce deneyine dayanır. Bu teorinin fiziksel anlamda bir deneyi yapılmamıştır.

- Belirli bir zaman aralığı farklı gözlem çerçevesinde farklı ölçülebileceği için bu gözlem çerçevesinde ölçülen zamana **göreli zaman** denir. Somut olarak iki gözlemci düşünülürse A gözlemcisi Dünya üzerinde durgunken, B gözlemcisi Dünya dışında ışık hızına yakın bir hızda hareket etsin. A ve B gözlemcilerinin ölçtüğü zaman farklı olacaktır. B gözlemcisinin ölçtüğü zaman Dünya'daki gözlemciye göre olduğu için göreli bir zamandır.

Düşünce deneyinin bağıntısı $\Delta t = \gamma \cdot \Delta t'$ şeklindedir.

Δt Dünya üzerinde ölçülen zaman, $\Delta t'$ ışık hızına yakın bir hızda hareket eden gözlemcinin ölçtüğü zaman, γ ise dönüşüm katsayısıdır ve 1'den büyüktür. Bu durumda bağıntıdaki Δt süresinin $\Delta t'$ süresinden daha büyük olduğu anlaşılır.

$\Delta t > \Delta t'$ durumuna **zamanın genişlemesi** denir. Buna göre hareket halindeki bir saat sabit bir saate göre daha yavaş çalışır.

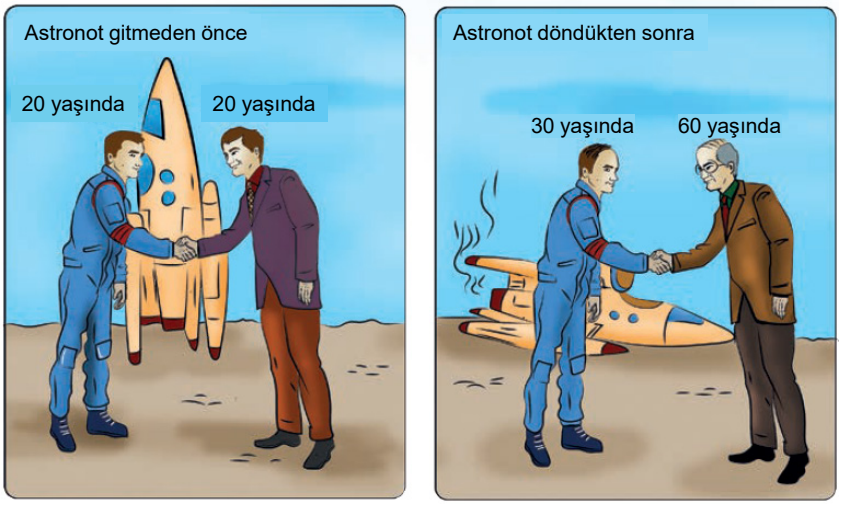
- Zaman genişlemesi 1970'lerde yapılan bir deneyle ispatlanmaya çalışılmıştır. Bir atom saati Dünya'da bir laboratuvarda, diğeri ise bir jet uçağında bulunmuştur. Uçak Dünya etrafında iki yönde dolaştırılmış ve uçaktaki saat ile laboratuvardaki saat karşılaştırıldığında, uçaktaki saatin daha yavaş çalıştığı sonucuna varılmıştır. Buna göre hareket halindeki bir saat sabit bir saate göre daha yavaş çalışır.

Zamanın genişlemesine ilişkin başka düşünceler de ileri sürülmüştür. Bunlardan biri de ikizler paradoksudur.

Bu paradoksa göre;

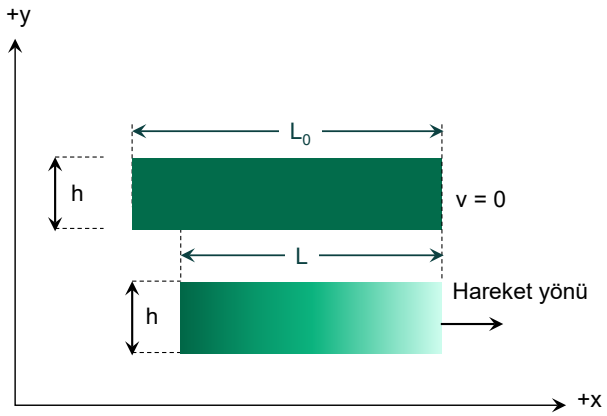
1. Dünya'da 20 yaşında olan ikiz kardeşlerden biri Dünya'da kalırken diğeri ışık hızına yakın bir hızla uzayda seyahat edip Dünya'ya dönecek.
2. Uzayda seçilen bir noktanın Dünya'da bekleyen kardeş için gidiş geliş süresi 40 yıl olacak.
3. Bu durumda Dünya'da bekleyen kardeşin yaşı 20 + 40 = 60 olacak.
4. Işık hızına yakın bir hızla hareket eden kardeş için geçen zamanın ise 40 yıldan daha az olması beklenmektedir. Bu durumda uzaya giden kardeş Dünya'ya döndüğünde 60 yaşından daha küçük olacaktır.

Dünya'da duran gözlemci için geçen 40 yıl, hareketli için 10 yıl olarak geçmiştir. Bu durum zamanın genişlemesi ile açıklanabilir. Böylece hareketli için yaşlanma gecikmiş olur.



İkizler paradoksunda zamanla oluşması beklenen yaş farkı

GÖRELİ UZUNLUK



Hareket doğrultusundaki uzunluğun kısalması

Özel görelilik kuramında, iki olay arasındaki zaman aralığı ve iki nokta arasındaki uzunluk ölçümü, referans çerçevesine bağlıdır. Referans çerçevesinde hareket eden bir nesne için hareket doğrultusunda ölçülen uzunluk, sabit bir referans çerçevesindeki ölçülen uzunluktan daha kısadır. Bu etki, **''uzunluk büzülmesi''** ve ölçülen değer de **''göreli uzunluk''** olarak adlandırılır.

Bu düşünce deneyinde, çubuğa göre durgun bir gözlemci, çubuğun boyunu L_0 olarak ölçerse çubuğa göre v hızıyla hareket eden bir gözlemci, çubuğun boyunu durgun boyundan daha kısa L olarak ölçer.

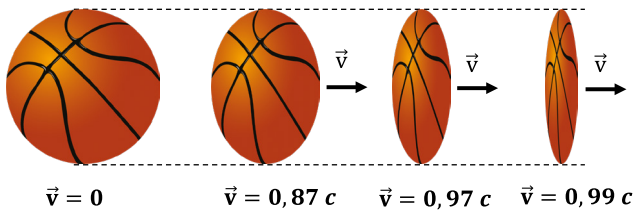
Düşünce deneyinin bağıntısı $L_0 = \gamma \cdot L$ şeklindedir.

γ dönüşüm katsayısının 1'den büyük olduğu göz önüne alındığında L_0'ın, L'den daha büyük olduğu anlaşılır.

Yani $L_0 > L$ olur.

Işık hızına yakın hızlarda hareket eden bir cismin uzunluğu durgun hâldeki uzunluğuna göre daha kısa olur. Buna **uzunluk büzülmesi** denir.

Uzunluk kısalması sadece hareket doğrultusunda gerçekleşir. Şekildeki gibi cisim v hızıyla +x yönünde hareket ettiği için sadece L_0 uzunluğu kısalır ve L olur. h uzunluğu hareket doğrultusunda olmadığı için değişmez.



Durgun halden harekete geçerek ışık hızına yakın hızlara ulaşan küresel bir cismin hareket doğrultusundaki boyutlarında meydana gelen kısalma (büzülme)

Uzunluk büzülmesi, yalnızca hareket doğrultusundadır. Hareket doğrultusuna dik olan uzunluklarda herhangi bir değişim gözlenmez.

Şekildeki küresel cisim, durgun bir gözlemciye göre hızlanarak ışık hızına yaklaşırsa cismin hareket doğrultusundaki boyutları kısalır.

Zaman ve uzunluğun gözlem çerçevesine bağlı olması, Newton mekaniğindeki mutlak zaman ve mutlak boyut kavramlarını ortadan kaldırarak fizik dünyasını bambaşka bir yola sokmuştur.

KÜTLE-ENERJİ EŞDEĞERLİĞİ

Einstein, 1905 yılında özel göreliliği ortaya koyduğu "Hareket Eden Cisimlerin Elektrodinamiği Üzerine" başlıklı makalesinde enerjinin varlığının beraberinde bir kütle getirdiğini ileri sürmüştür.

Einstein'ı bu denklemi ortaya koymaya iten temel kavram radyoaktivitedir. Örneğin radyoaktif bir element olan radyum, çevresine enerji yayarken kütle kaybeder. Eistein'e göre her şey enerjidir yani maddeler de çok yoğun enerjilerdir. Kütle enerjinin diğer bir formudur. Bu nedenle kütle enerjiye, enerji de kütleye dönüşebilir. Kimyasal reaksiyonlar sonrası küçük de olsa kütlenin bir kısmı enerjiye dönüşmektedir. Çift oluşumu tepkimeleri, enerjinin kütleye dönüşümünün, yok olma tepkimeleri ise kütlenin enerjiye dönüşümünün önemli birer kanıtıdır.

Einstein bu düşüncesini,

$$E = m \cdot c^2$$

denklemiyle ortaya koyarak kütlenin, bir cismin içerdiği enerjinin doğrudan ölçüsü olduğunu belirtmiştir

SİYAH CİSİM IŞIMASI VE PLANCK HİPOTEZİ

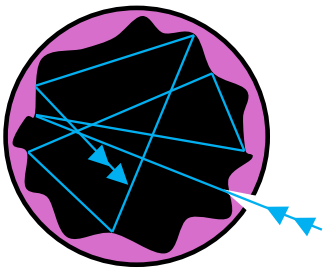
SİYAH CİSİM IŞIMASI

Sıcaklığı mutlak sıcaklığın üstünde olan bütün maddeler, elektromanyetik ışıma yapar. Bu ışıma düşük sıcaklıklarda büyük dalga boylarında (kızıl ötesi) gerçekleşir. Canlıların vücutlarının da bir sıcaklığı olduğundan canlılarda ışıma yaparlar ancak bu ışımalar görünür bölgede olmadığından termal kameralarla gözlenebilir. Düşük sıcaklıktaki demirin ışımasını görülmez ama demirin sıcaklığını arttırdıkça kızardığı görülebilir ve demirin sıcaklığını daha da arttırırsak dalga boyu çok daha küçük ışımalar yaparak görünür bölgenin dışında morötesi bölgede yer alan ışımalar yapar.

Maddenin sıcaklığına bağlı olarak farklı frekanslarda ışıma yapmasına termal ışıma denir. Termal ışıma, elektromanyetik spektrumun kızılötesi, görünür ve morötesi dalga boylarının dağılımından meydana gelir. Bu nedenle herhangi bir cisimden yayılan termal ışımayı belirlemek oldukça zor olup deneysel çalışmalarda termal ışımanın özelliklerinin tam olarak belirlenebilmesi için üzerine düşen ışığı tamamen soğuran bir cismin kullanılması gereklidir.

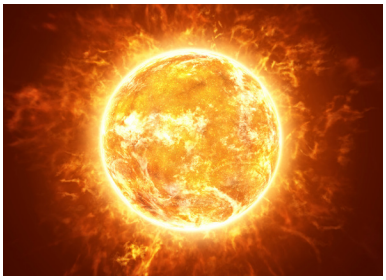
Üzerine düşen ışığın tamamını soğuran ve sıcaklığa bağlı olarak her dalga boyunda ışıma yapan cisimlere **siyah cisim** denir. Siyah cisim ideal bir cisim olup gerçekte böyle bir cisim yoktur. Siyah cisim, yaptığı ışınım ve yüklerin sadece termal hareketine bağlı olan cisimlerdir ve hiçbir ışığı yansıtmamalıdır.

Siyah cisimler tarafından cismin sıcaklığına bağlı olarak yapılan ışımaya da siyah cisim ışıması denir. Siyah cisim ışıması, cismin sıcaklığı dışında başka hiçbir özelliğine bağlı değildir. Yani aynı sıcaklığa sahip iki siyah cisim, diğer bütün özellikleri farklı olsa dahi aynı ışıma spektrumuna sahip olurlar.



Siyah Cisim Modeli

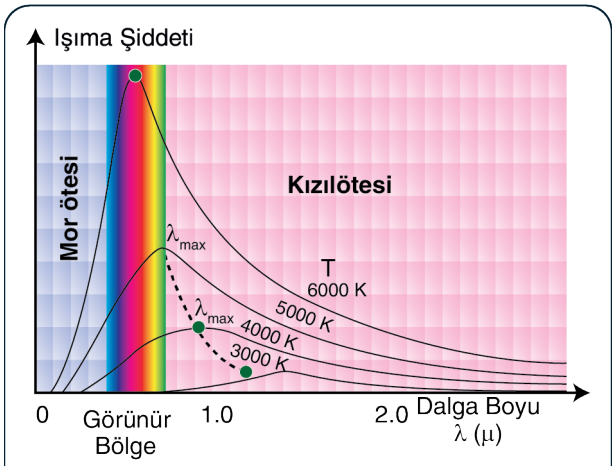
Şekilde üzerindeki bir delikten ışınların yaptıkları çoklu yansımaların sonucunda dışarı çıkamadan tüm enerjilerini cisme aktarmaları şeklinde gösterilen siyah cisim modeli görülmektedir.



Güneş yüzeyine gelen ışınımların çok küçük bir kısmını yansıttığından dolayı Güneş ve yıldızlar da siyah cisim olarak değerlendirilmektedir.

Kor halindeki kömürün ışıması

Siyah cisim ışıması siyah renkli kor halinde 5000 K sıcaklığına gelmiş kömürde görülür.



Farklı sıcaklık değerleri için siyah cismin ışıma şiddetinin ışınım dalga boyuna bağlı değişim grafiği

Siyah cisim modelindeki delik içinden giren ışık ardışık yansımalarla tamamen emilir, bu da ışımanın sıcaklığa bağlı olduğunu gösterir.

Farklı sıcaklıklardaki siyah cisim ışımasının dalga boyuna bağlı grafikleri, iki önemli sonucu gösterir:

1. Cismin herhangi bir sıcaklıkta maksimum şiddette ışıma yaptığı bir dalga boyu değeri vardır. Sıcaklık arttıkça ışıma şiddetinin maksimum olduğu tepe noktası, kısa dalga boylarına (mor ötesi bölgesi) doğru kaymaktadır.

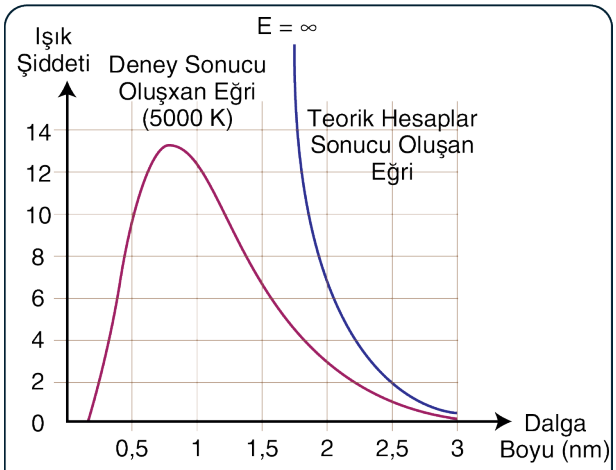
Bu kaymaya Wien Kayma Yasası denir ve

$$\lambda_{max} \cdot T = 2{,}898 \cdot 10^{-3}\ m{\cdot}K$$

bağıntısıyla ifade edilir.

Denklemde λ_{max} eğrinin tepe noktasına karşılık gelen dalga boyu, T ise ışınım yapan cismin Kelvin cinsinden sıcaklık değeridir.

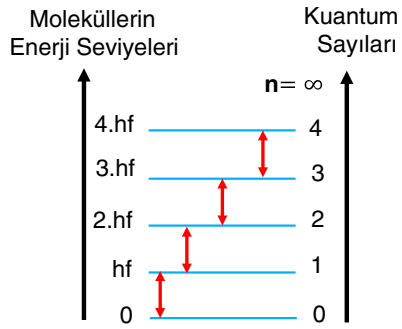
2. Cismin sıcaklığı arttıkça yaydığı enerji de artar. Dolayısıyla ışıma frekansı ve ışıma şiddeti de artar.



Siyah cismin yayınladığı ışığın şiddeti ile dalga boyu arasındaki değişimi ortaya koyan klasik fiziğin teorik hesaplamaları ile deneysel olarak elde edilen grafikler

Klasik fiziğe göre, siyah cismin yapacağı ışıma frekansa bağlı olarak sürekli artmalıdır. Dolayısıyla bütün maddeler her bir anda sonsuz enerji yaymalıdır ve bunun olması imkânsızdır. Siyah cisim ışıması deneyleri, düşük frekanslarda klasik teoriyle uyumlu olmasına rağmen, mor ötesi bölgede tamamen zıt bir karakter sergilemektedir. Bilim tarihine "morötesi felaket" adıyla geçen bu durum klasik olarak hiçbir şekilde açıklanamamış ve bu uyumsuzluk Planck tarafından çözülmüştür.

PLANCK HİPOTEZİ



Planck'a göre kuantumlu enerji seviyeleri

Planck, 1900 yılında siyah cisim ışıması için tüm dalga boylarında deneysel verilerle tam uyum içerisinde olan bir denklem ortaya koymuştur. Planck enerjinin sürekli değil de, kesikli olduğu düşünüldüğünde deneylerin açıklanabileceğini göstermiştir. Kuantum teorisinin başlangıcı bu olaya dayanır.

Planck, kendi adıyla anılan teorisinde iki varsayım öne sürmüştür.

1. Bir cisim üzerinde yer alan moleküller, belli frekans değerlerinde titreşir ve sürekli olmayan kesikli enerji değerlerine sahiptir.

n: Kuantum sayısını ifade eden pozitif bir tam sayı,

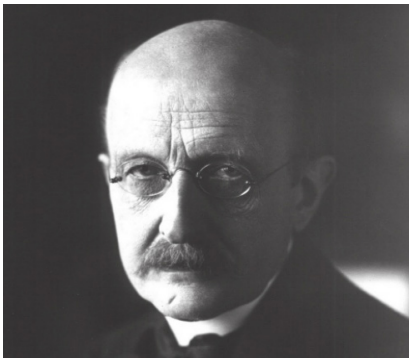
f : Moleküllerin titreşim frekansı

h: Planck sabiti ($6{,}626 \cdot 10^{-34}$ J · s) olmak üzere ışınım enerjisi,

$E = n \cdot f \cdot e$ bağıntısıyla bulunur.

2. Moleküller, kuanta (paketçik) adı verilen belli büyüklükteki kümeler hâlinde enerji yayar ya da soğurur.

Bu yayılım, moleküllerin bir enerji düzeyinden diğerine geçişi sırasında gerçekleşir. Ardışık iki kuantum düzeyi arasındaki enerji farkı $E = h \cdot f$ bağıntısıyla hesaplanır. Molekül, aynı kuantum düzeyinde kalırsa enerji soğrulmaz ya da yayınlanmaz.



Max Planck (1858-1947)

Planck hipotezi, kuantum mekaniğini ortaya çıkaran adımı, kesikli enerji kavramını öne çıkararak ışığın tanecik kuramını yeniden canlandırmıştır. 1905'te Einstein'ın fotoelektrik olayı ve 1913'te Bohr'un atom modeli gibi gelişmelere yol açtı.

Planck, çok yüksek frekanslarda ışıma yapmak için gerekli olan enerji paketlerini atomun yayınlayamayacağını ancak düşük frekanslarda pek çok düşük enerjili paket yayınlayabileceğini belirterek morötesi felaket çıkmazını sona erdirmiş ve kuantum mekaniğinin temellerini attı.

Planck'ın çalışmalarının kabulü yıllar sürmüş ve 1918'de Nobel Fizik Ödülü almıştır.

FOTOELEKTRİK OLAY

FOTON

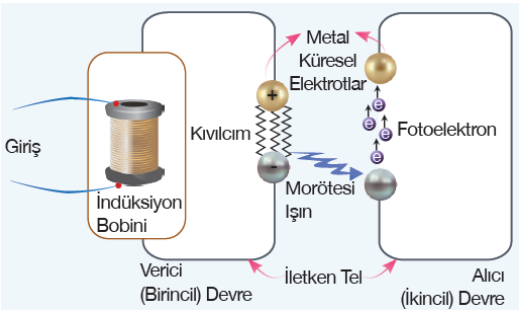
Işık kaynaklarından çıkan yoğunlaşmış enerji paketlerine **foton** denir.

Fotonların genel özellikleri,

- Fotonlar, boşlukta ışık hızıyla hareket eder.
- Higgs alanıyla etkileşmedikleri için fotonların kütleleri ve durgun enerjileri yoktur.
- Kütlesi olmamasına rağmen fotonlar, elektron gibi kütleli parçacıklarla etkileşime girebilir.
- Diğer kütleli parçacıklar gibi fotonların da enerji ve momentumları vardır.
- Fotonlar, elektrikçe yüksüz olduklarından elektrik alanından ve manyetik alandan etkilenmez.
- Fotonlar kararlı yapıdadır.
- Fotonlar atom içinde bulunmazlar. Fotonlar atomla etkileşime girip atomu uyarabilir. Hatta yeterli enerjisi varsa atomdan elektron sökebilir yani iyonlaştırır.
- Fotonlar ışıma yayınlandığında oluşur, soğrulduğunda yok olur.
- Fotonlar, hiçbir sistemde durgun olarak bulunamaz.

FOTOELEKTRİK OLAYI

Hertz'in Fotoelektrik ile İlgili Çalışmaları



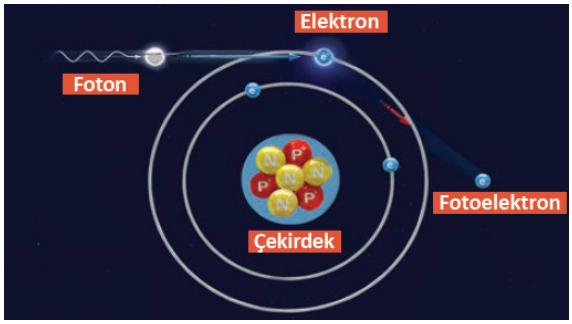
Hertz'in fotoelektrik etkisini gözlemlediği düzeneğin şematik gösterimi

Heinrich Hertz, şekildeki gibi planladığı deney düzeneğiyle, fotoelektrik etkisini hava ortamında gözlemleyen ilk bilim insanı oldu. Deneyde, indüksiyon bobini, verici (primer) devredeki iki küresel elektrot arasında kıvılcım oluşturacak şekilde yükleme yapar. Bu kıvılcımlar, morötesi ışınlar yayarak alıcı (sekonder) devredeki küresel elektrotlardan birine düşer. Morötesi ışınların etkisiyle bu elektrottan elektronlar kopar. Sökülen elektronlar, diğer küresel elektrota ulaşarak alıcı devrede bir fotoelektrik akım oluşturur.

Deneyde, vericideki morötesi ışıma engellenirse fotoelektrik akım kesilir. Eğer engellenmezse, fotoelektrik akım tekrar oluşur. Bu deney, yüksek enerjili ışınların metal elektrotlardan elektron sökebildiğini gösterdi. Hertz, bu çalışmasıyla elektromanyetik dalgaların fotoelektrik etkisini deneysel olarak doğrulamış oldu.

Hertz, deney sonucunda ışığın metal yüzeyden elektron koparmasını klasik fizik yasaları ile açıklayamamıştır. 1905 yılında Albert Einstein, Max Planck'ın ortaya attığı Kuantum Teorisi'ni kullanarak fotoelektrik olayı açıklamıştır. Planck'in kuanta adını verdiği enerji paketçiklerini ışık için kullanmıştır. Işığı oluşturan enerji paketçiklerine **foton** adını vermiştir.

Fotoelektrik etkisi üzerine yaptığı çalışmalar, Einstein'a 1921 yılı Nobel Fizik Ödülü'nü getirmiştir.



Fotoelektrik etki modeli

Fotoelektrik olayı ışığın tanecikli yapısını ortaya koyan ilk olaydır. Bir kaynaktan yayılan fotonların bir madde yüzeyine düşürülmesi suretiyle maddeden elektron koparılması şeklinde gerçekleşir.

Fotoelektrik olayında maddenin yüzeyinden yayılan elektronlara fotoelektron adı verilir.

Fotoelektrik olayda foton bir parçacık olarak bir başka parçacıkla yani elektronla etkileşir. Fotoelektrik olayı, ışığın tanecikli yapısını ortaya koyar.

KRİTİK BİLGİ

Metal yüzeye düşen her bir foton sadece tek bir elektron koparabilir.

FOTONUN ENERJİSİ

HATIRLAYALIM

h: Planck sabiti = $6{,}62 \cdot 10^{-34}$ J·s dir.

f: Fotonun frekansıdır. Birimi s^{-1} veya Hertz (Hz)'dir.

c: Işık hızı=$3 \cdot 10^{8}$ m/s'dir.

λ: Fotonun dalga boyu olup birimi Å(Angström)'dür. 1 Å = 10^{-10} m

Işık kaynaklarından gelen her bir fotonun enerjisi;

$E = h \cdot f = h \cdot \frac{c}{\lambda}$ eşitliğiyle bulunur.

Elektronvolt (eV): Enerji birimidir. Bir elektronun 1 volt potansiyel farkı altında kazandığı enerjiye eşdeğer olup büyüklüğü $1\ eV = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ J 'dür.

Fotonun enerjisi için h ve c değerleri yazılıp hesaplamalar yapıldığında

$h \cdot c \cong 12400\ eV \cdot Å$ bulunur. Bu eşitlik soru çözümlerinde kolaylık sağlar.

Bu durumda bir fotonun enerjisi elektronvolt cinsinden,

$E = \frac{12400\ eV \cdot Å}{\lambda}$ eşitliği ile bulunur.

Einstein'ın Fotoelektrik Denklemi

Bir metalin yüzeyine düşürülen her ışık, metalden elektron koparamaz. Fotoelektrik akımının oluşabilmesi için fotonların enerjisinin belli bir değerin üzerinde olması gerekir.

Işığın herhangi bir metal yüzeyden elektron sökebilmesi için gerekli en küçük enerjiye o metalin **eşik enerjisi** veya **bağlanma enerjisi** denir.

Eşik enerjisi metalin cinsine bağlıdır. Yüzeye gelen fotonun enerjisine ve yüzeyin büyüklüğüne bağlı değildir. Maddeler için ayırt edici bir özelliktir.

Elektron sökmeyi sağlayan ışığın frekansının en küçük değerine **eşik frekansı (f_0)**, en büyük dalga boyuna ise **eşik dalga boyu (λ_0)** denir.

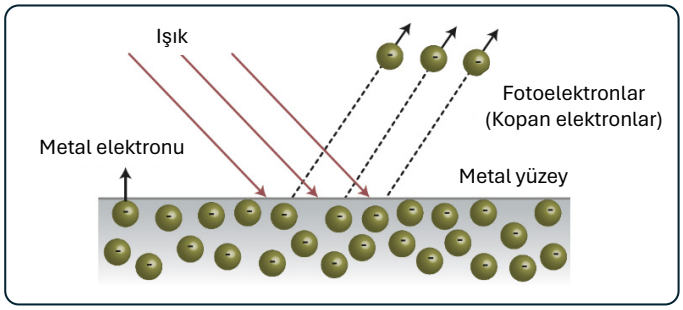
Eşik enerjisi, $E_0 = h \cdot f_0 = h \cdot \frac{c}{\lambda_0}$ eşitliğiyle bulunur.

Einstein, fotoelektrik olayı enerji korunumundan yararlanarak,

$E_{foton} = E_{Bağlanma} + E_{K(max)}$ eşitliğiyle fotoelektrik denklemi olarak ortaya koymuştur.

$E_{Bağlanma}$ = Bağlanma enerjisi

$E_{K(max)}$ = Elektrona aktarılan kinetik enerji



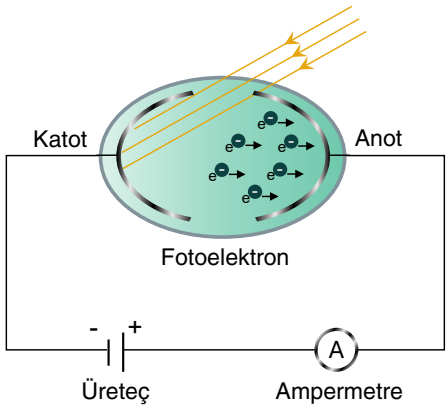
Fotoelektrik olayının şematik gösterimi

Fotonun enerjisi, eşik enerjisine eşit ya da ondan büyük değerde ise foton soğrulur ve atomdan elektron koparılır. Enerjisi ne kadar büyük olursa olsun bir foton, yüzeyden ancak bir elektron sökebilir.

Einstein'ın fotoelektrik denklemi incelendiğinde ulaşılan sonuçlar şu şekilde özetlenebilir:

- Fotoelektrik olayında önemli olan, ışık ışınlarının taşıdığı toplam enerji miktarı değil, her bir fotonun enerjisidir.
- Fotonların elektron sökebilmesi için enerjilerinin yüzeyin eşik enerjisine eşit ya da yüzeyin eşik enerjisinden büyük olması gerekir.
- Fotoelektrik olayı sırasında foton soğrulur.
- Fotoelektrik olayı sırasında fotonlar, elektronlar ile birebir etkileşir. Başka bir ifadeyle enerjisi ne kadar yüksek olursa olsun tek bir foton, yüzeyden ancak tek bir elektron koparabilir.
- Fotoelektrik olayı, ışığın tanecikli yapısını gösteren bir olaydır.

Fotosel Lamba



Fotosel devre düzeneği

Şekildeki havası boşaltılmış cam fanusun katodunda alkali metaller kullanılır. Üreteç şekildeki gibi bağlandığında katot (–), anot (+) elektrik yüküyle yüklenir. Anot ve katot levha birbirine temas etmediği için karanlık bir ortamda devre tamamlanamaz ve devredeki ampermetreden akım geçmez. Eğer katot levhaya enerjisi yüksek tek renkli ışık düşürülürse fotoelektrik olay gerçekleşir, foton soğurulur ve buradan sökülen fotoelektronlar anoda ulaştığında devre tamamlanır ve ampermetreden akım geçer. Bu akıma **fotoelektrik akımı** denir.

Fotosel lambalarda hangi metaller kullanılır?

Sodyum, potasyum, lityum ve sezyum gibi alkali metallerin sahip oldukları elektronların bağlanma enerjileri çok düşük olduğundan bu metallerin yüzeylerinden görünür ışıkla elektron sökmek mümkündür. Bu nedenle fotosel yapımında genellikle alkali metaller kullanılır. Ancak alkali metaller havadaki oksijen ile tepkimeye girip metal özelliklerini yitirebildikleri için alkali metal kullanarak hazırlanacak bir fotosel tüpünün vakumlanarak havasının alınması şarttır.

FARKLI METALLERE AİT MAKSİMUM KİNETİK ENERJİ-FREKANS DEĞİŞİMİ

Her metal farklı bir eşik enerjisi değerine sahiptir. Bu nedenle eşik enerjisi E_0, eşik frekansı (f_0) ve eşik dalga boyu (λ_0) sadece metalin cinsine bağlıdır. Her foton ancak bir elektronla etkileştiği için metal yüzeyine düşürülen fotonların enerjileri eşik enerjisinden büyükse fotonun enerjisinin bir kısmı ile elektron koparılır. Kalan enerji de koparılan elektronlara kinetik enerji olarak kullanılır. Elektron metal yüzeyinden bu enerji ile ayrılır. Elektronların yüzeyi terk ettikleri anda sahip oldukları kinetik enerjiye **maksimum kinetik enerji** denir.

Einstein'ın fotoelektrik denklemi,

$$E_f = E_0 + E_K$$

frekansa bağlı olarak yazılırsa, $h \cdot f = h \cdot f_0 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$ olur.

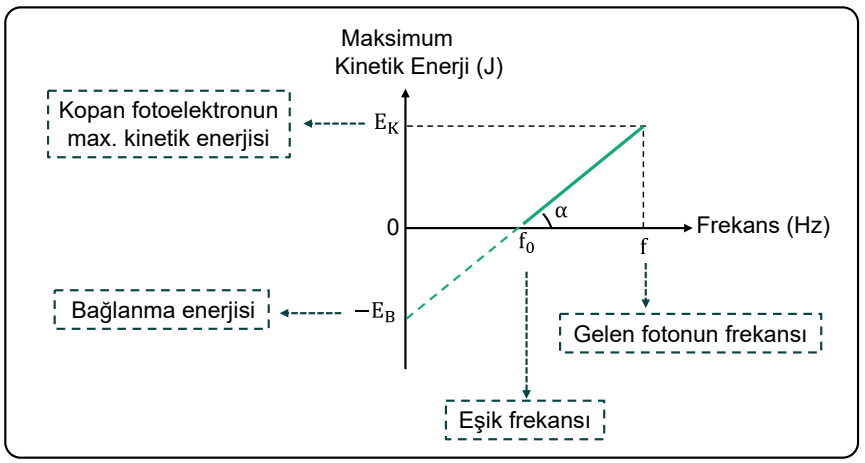
Bu eşitliğe göre, eşik frekansı f_0 olan bir metal ile kaplı bir fotoelektrik devresinde fotosele çarpan fotonların frekansı f olmak üzere,

- $f < f_0$ ise metal yüzeyinden elektron koparılamaz. Fotoelektronlar oluşmaz ve fotoelektrik olayı gerçekleşmez.
- $f = f_0$ ise metal yüzeyinden elektron koparılır ve fotoelektronların kinetik enerjisi sıfır olur.
- $f > f_0$ ise metal yüzeyinden elektron koparılır. Fotoelektron kazandığı kinetik enerjiyle hareket eder.

Fotoelektronların kinetik enerjisinin ışığın frekansına bağlı ifadesi, $E_K = h \cdot f - h \cdot f_0$

Fotoelektronların kinetik enerjisinin ışığın dalga boyuna bağlı ifadesi, $E_K = h \cdot \frac{c}{\lambda} - h \cdot \frac{c}{\lambda_0}$ şeklinde olur.

Yapılan çalışmalarda metalden kopan elektronların kinetik enerjisinin metal yüzeye düşürülen ışığın şiddetine bağlı olmadığı, frekansına ya da dalga boyuna bağlı olduğu görülmüştür. Buna göre kopan elektronların sahip olduğu maksimum kinetik enerjinin fotonun frekansına bağlı değişim grafiği aşağıdaki gibi olur.



Fotoelektronun Kinetik enerji-Frekansı grafiği

Grafikteki doğrunun eğimi Planck sabiti h'yi verir .

Bu eğim bütün metallerle yapılan fotoelektrik olayı deneylerinde sabittir.

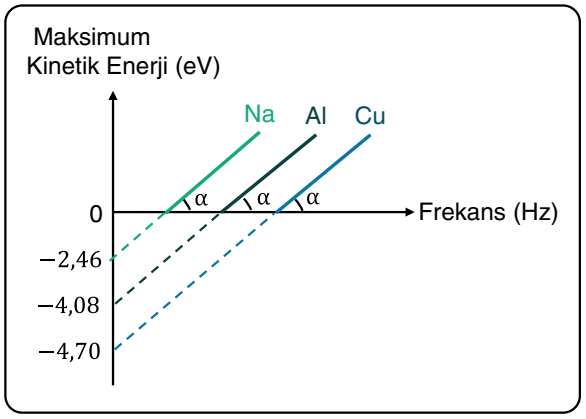
$$\text{Eğim} = \tan\alpha = h = \frac{E_K}{f - f_0}$$

Bu grafikten,

1. Doğrunun eğimi h Planck sabitini verir. Bu grafik tüm maddeler için çizildiğinde tüm doğruların eğimleri h Planck sabitini vereceğinden bu doğrular birbirine paralel olur.

2. Grafik doğrusal olduğundan gelen fotonların frekansları, kopan fotoelektronların kinetik enerjisiyle doğru orantılıdır.

sonuçları çıkarılır.



Farklı metallere ait Fotoelektronların Kinetik enerjisi-Frekans grafiği

Kopan elektronların maksimum kinetik enerjilerinin gelen fotonların frekansına bağlı değişim grafiği hangi metal için çizilirse çizilsin eğimleri birbirine eşittir.

Şekilde Na, Al ve Cu metalleri için kinetik enerji-frekans grafiği çizildiğinde doğruların hepsinin eğimi aynı olup h Planck sabitini verir.

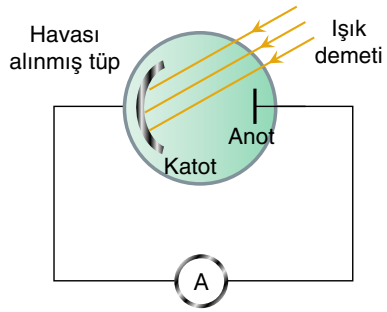
FOTOELEKTRİK OLAY UYGULAMALARI VE KESME GERİLİMİ

FOTOELEKTRONLARIN MAKSİMUM KİNETİK ENERJİSİ İLE METALİN EŞİK ENERJİSİ ARASINDAKİ İLİŞKİ

Akım şiddeti: Bir iletkenin birim kesitinden birim zamanda geçen yük miktarına denir. Akım şiddeti I sembolüyle gösterilir ve SI'da birimi amper (A)'dir.

Işık şiddeti: Bir ışık kaynağından birim zamanda çıkan foton sayısına denir. Işık şiddetini arttırmak için kaynaktan çıkan foton sayısını arttırmak gerekir. Fotonun enerjisini arttırmak ışık şiddetini değiştirmez.

Fotosel: Işık enerjisini elektrik enerjisine çeviren düzeneklere **fotosel** denir.



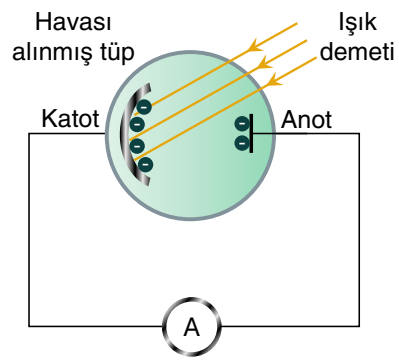
Şekil 1: Fotosel modeli

Şekil 1'de üretece bağlanmamış fotosel karanlık bir ortamdayken devrede herhangi bir akım oluşmaz.

Katot yüzeyine ışık düşürüldüğünde gelen fotonların enerjileri metalin eşik enerjisinden küçükse fotonlar katot yüzeyinden elektron sökemez ve akım oluşmaz.

Katot yüzeyine düşürülen fotonların enerjileri eşik enerjisine eşitse katot yüzeyinden elektron koparılır fakat elektron kinetik enerji kazanmadığından, elektron katot levhası yüzeyinde kalır ve akım yine oluşmaz.

Fotoelektrik Akım (i_0 akımı)



Şekil 2: Fotoselde akım oluşması

Şekil 2'deki gibi katot yüzeyi üzerine düşürülen fotonların enerjisi, metalin eşik enerjisinden büyükse foton metal tarafından soğurulur ve enerjisi hem katottan elektronu koparır ve koparılan elektronlara kinetik enerji kazandırır. Kinetik enerji kazanmış elektronların bir kısmı sapar bir kısmı ise anoda çarpar ve devrede bir akım oluşmasına neden olur.

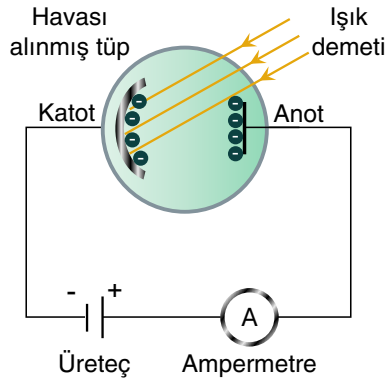
Üreteçsiz bir devrede katottan sökülen elektronların anoda ulaşmasıyla oluşmuş devre akımına fotoelektrik akım (i_0) denir.

i_0 akımını arttırmak için,

- Katot levhası üzerine düşen ışık şiddetini yani foton sayısını artırmak
- Katot levhasının yüzey alanını büyütmek
- Katot-anot arası uzaklığı azaltmak
- Eşik (bağlanma) enerjisi küçük metal kullanmak
- Işık kaynağı noktasal kaynaksa, ışık kaynağını katoda yaklaştırmak
- Anot levhasının yüzey alanını büyütmek
- Katoda düşürülen fotonların enerjisini artırmak

işlemleri yapılabilir.

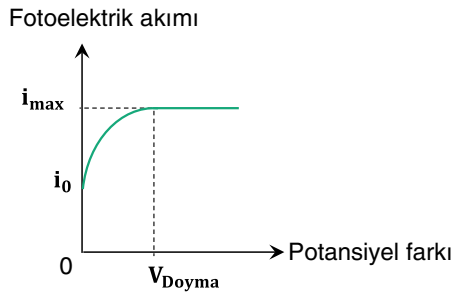
Maksimum Akım (i_{max} akımı)



Şekil 3: Bir fotosele üreteç bağlanması

Şekil 3'te devreye bağlanan üretecin negatif kutbu katot levhaya, pozitif kutbu ise anot levhaya bağlandığında iki metal levha arasında anottan katoda doğru bir elektrik alan oluşur. Gerilim belli bir değere ulaştıktan sonra elektrik alanın etkisiyle katot levhadan sökülen bütün elektronların anot levhaya ulaşmasını sağlar. Bu durumda devrede oluşan akım maksimum (i_{max}) ve sabit bir değer alır.

Doyma Gerilimi (V_{Doyma})



Şekil 4: Fotoelektrik olayında doyma gerilimi

Akımı maksimum yapan bu gerilim değerine doyma gerilimi (V_{Doyma}) denir. Doyma gerilimine ulaştıktan sonra gerilim arttırılsa da oluşan maksimum akım değişmez sabit kalmaya devam eder.

Şekil 4'teki grafikte görüldüğü gibi Şekil 3'teki fotosel devresinde gerilim artarak belirli bir değere yani doyma gerilimine (V_{Doyma}) ulaştığında katot levhadan koparılan tüm elektronlar anot levhaya ulaşır ve akım en büyük değerini (i_{max}) alır.

i_{max} akımını artırmak için,

- Işık kaynağının şiddeti (katoda düşen foton sayısı) artırmak
- Işık kaynağı noktasal ise ışık kaynağı ile katot levha arasındaki uzaklığı azaltmak
- Katot levhanın yüzey alanını büyütmek
- Katoda gelen ışınların yüzeye dik gelmesini sağlamak

işlemleri yapılabilir.

i_{max} akımı sökülen her elektron anoda ulaşacağından dolayı,

- Anot levhanın yüzey alanına bağlı değildir.
- Sökülen her elektron, karşı levhaya ulaşacağından fotonun enerjisine ve frekansına bağlı değildir.
- Katot levhada kullanılan metalin bağlanma enerjisine bağlı değildir.
- Katotta kullanılan metalin cinsine bağlı değildir.
- Katot ve anot arasındaki mesafeye bağlı değildir.

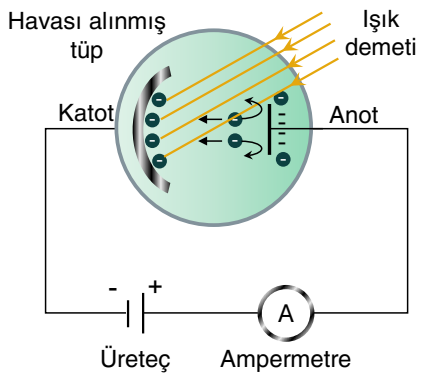
e elektronun yükü, V üretecin potansiyel farkı olmak üzere

Anot ve katot levhaları arasındaki elektriksel kuvvet, elektronlara $W = E = e \cdot V$ kadar enerji kazandırır.

Bu durumda Einstein'ın fotoelektrik denklemi,

$E_f + e \cdot V = E_B + E_K$ şeklinde yazılır.

Kesme Potansiyeli (V_{Kesme})



Şekil 5: Fotosel devresine üretecin ters bağlanması

Şekil 5'teki gibi bir fotosel devrede üreteç devreye ters bağlandığında katot levhaya pozitif (+), anot levha negatif (-) yüklenir ve levhalar arasında katottan anoda doğru bir elektrik alan oluşur. Bu elektrik alandan dolayı fotoelektronlar hareket yönlerine ters bir elektriksel kuvvetin etkisinde kalır.

Üretecin gerilimi artırıldıkça fotoelektronların hareket etmeleri zorlaşır ve anoda ulaşan elektron sayısı gittikçe azalır. Üretecin gerilimi belli bir değere ulaştığında hiçbir elektron anoda ulaşamaz ve devre akımı sıfır olur.

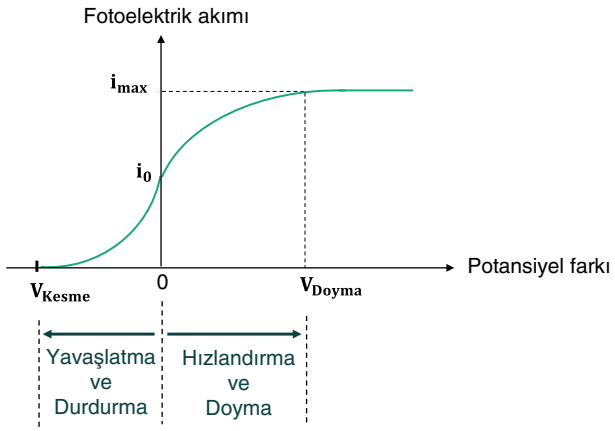
Devre akımını sıfırlayan bu gerilimin en küçük değerine durdurma gerilimi denir. Durdurma gerilimine devre akımını kesmesinden dolayı **kesme potansiyeli** (V_{Kesme}) denir.

Kesme potansiyel farkı,

- Gelen fotonun enerjisiyle ve frekansıyla doğru, dalga boyu ile ters orantılıdır.
- Metalin eşik enerjisiyle ters orantılıdır.
- Işık kaynağının şiddetine, ışık akısına, ışık kaynağının katot levhaya olan uzaklığına, anot-katot arası uzaklığa, anot ve katot levhaların yüzey alanlarına bağlı değildir.

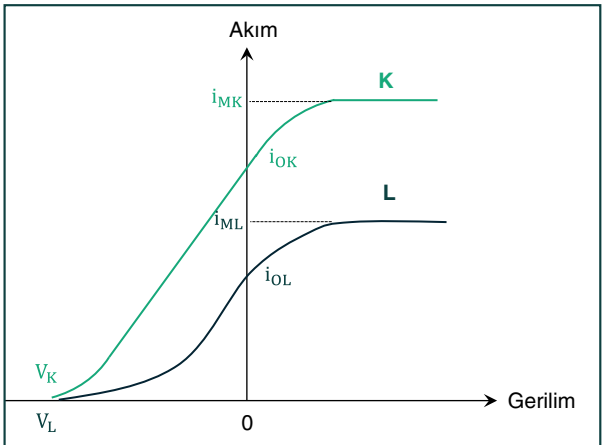
Şekil 5'teki gibi üretecin ters bağlanmasıyla kurulan bir fotosel devrede katot levhasına düşürülen fotonların enerjileri metalin eşik enerjisinden büyükse katot yüzeyinden elektron koparılır. Kopan elektronlar metalden E_K kinetik enerjisiyle ayrılırlar.

- $E_K > e \cdot V \Rightarrow$ Koparılan elektronlar anot levhasına $E_K = E_f \cdot e \cdot V$ kadarlık bir kinetik enerjiyle çarpar ve devrede fotoelektrik akım oluşur.
- $E_K < e \cdot V \Rightarrow$ Koparılan elektronlar anot levhasına ulaşamaz ve devrede fotoelektrik akım oluşmaz.
- $E_K = e \cdot V \Rightarrow$ Koparılan elektronlar anot levhasına ulaşamaz ve devrede fotoelektrik akım oluşmaz ve uygulanan gerilim kesme potansiyeline eşit olur.



Şekil 6: Fotoselde oluşan fotoelektrik akımın yavaşlatıcı ve hızlandırıcı gerilime bağlı değişim grafiği

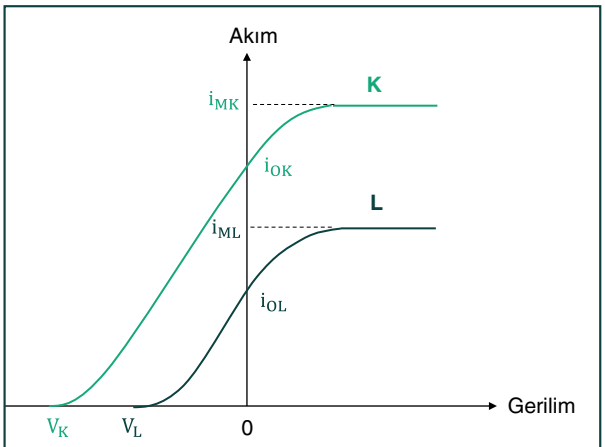
FOTOELEKTRİK OLAYDA GRAFİKLER VE YORUMLARI



Şekil 7: Akım – Gerilim grafiği

Aynı fotosel lambaya gönderilen K ve L ışık ışınlarının akım-gerilim grafikleri Şekil 7'deki gibi ise;

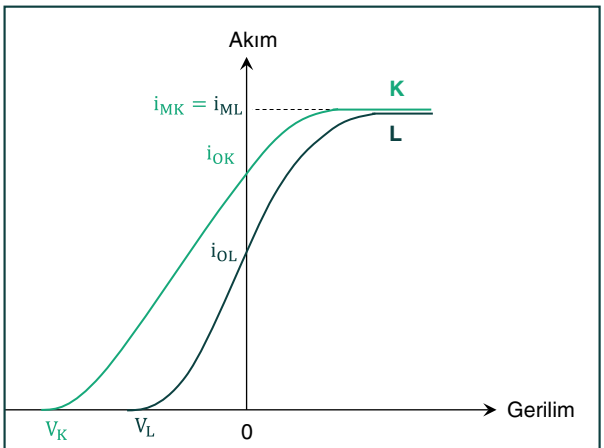
1. K ve L'nin maksimum akımları arasındaki ilişki $i_{MK} > i_{ML}$ ise K'nin ışık şiddeti (foton sayısı), L'ninkinden büyüktür.
2. K ve L'nin fotoelektrik akımları arasındaki ilişki $i_{OK} > i_{OL}$ ise K'nin ışık şiddeti (foton sayısı) ve enerjisi L'ninkinden büyüktür.
3. $V_K = V_L$ kesme gerilimleri eşitse K ve L'nin fotonlarının enerji, frekans ve dalga boylarının eşit olduğunu yani aynı renkli olduklarını gösterir.



Şekil 8: Akım – Gerilim grafiği

Aynı fotosel lambaya gönderilen K ve L ışık ışınlarının akım- gerilim grafikleri Şekil 8'deki gibi ise;

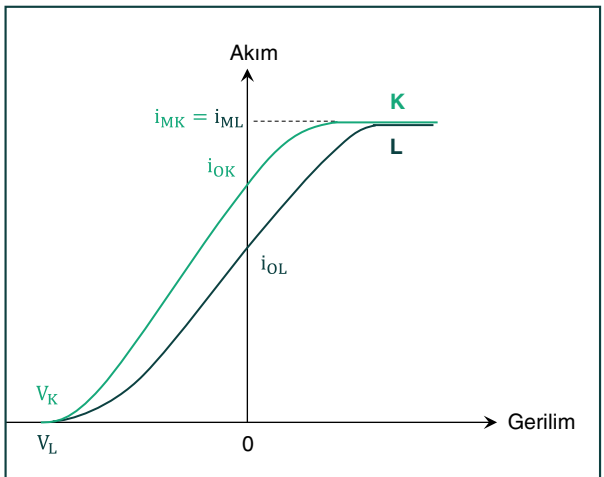
1. K ve L'nin maksimum akımları arasındaki ilişki $i_{MK} > i_{ML}$ ise K'nin ışık şiddeti (foton sayısı), L'ninkinden büyüktür.
2. K ve L'nin fotoelektrik akımları arasındaki ilişki $i_{OK} > i_{OL}$ ise K'nin ışık şiddeti (foton sayısı) ve enerjisi L'ninkinden büyüktür.
3. K ve L'nin kesme gerilimleri arasındaki ilişki $V_K > V_L$ ise K'nin fotonlarının enerjisinin, L'nin fotonlarının enerjisinden büyüktür. Buna göre K'nin frekansı L'den büyük, K'nin dalga boyu L'den küçüktür.



Şekil 9: Akım – Gerilim grafiği

Aynı fotosel lambaya gönderilen K ve L ışık ışınlarının akım-gerilim grafikleri Şekil 9'daki gibi ise;

1. K ve L'nin maksimum akımları eşit $i_{MK} = i_{ML}$ ise K ve L'nin ışık şiddeti (foton sayısı) eşittir.
2. K ve L'nin fotoelektrik akımları arasındaki ilişki $i_{OK} > i_{OL}$ ise K'nin ışık şiddeti (foton sayısı) ve enerjisi L'ninkinden büyüktür.
3. K ve L'nin kesme gerilimleri arasındaki ilişki $V_K > V_L$ ise K'nin fotonlarının enerjisinin, L'nin fotonlarının enerjisinden büyüktür. Buna göre K'nin frekansı L'den büyük, K'nin dalga boyu L'den küçüktür.



Şekil 10: Akım – Gerilim grafiği

Bağlanma enerjilerinin aynı olduğu farklı iki fotosel lambaya gönderilen K ve L ışık ışınlarının akım- gerilim grafikleri Şekil 10'deki gibi ise;

1. K ve L'nin maksimum akımları eşit $i_{MK} = i_{ML}$ ise K ve L'nin ışık şiddeti (foton sayısı) eşittir.
2. K ve L'nin fotoelektrik akımları arasındaki ilişki $i_{OK} > i_{OL}$ ise K ışınlarının gönderildiği fotoseldeki anot – katot arası uzaklığın L'dekinden küçük olması veya K ışınlarının gönderildiği fotoseldeki katot yüzey alanının L'nin yüzey alanından büyük olmasındandır.
3. K ve L'nin kesme gerilimleri eşit $V_K = V_L$ ise K'nin fotonlarının enerjisi, L'nin fotonlarının enerjisine eşittir. Buna göre K ve L'nin frekansları ve dalga boyları aynı olup K ve L ışıkları aynı renktedir.

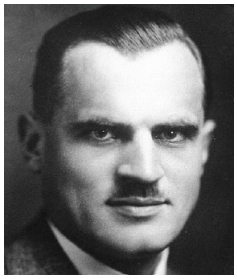
FOTOELEKTRİK OLAYININ GÜNLÜK HAYATTAKİ UYGULAMALARI

Fotoelektrik olayı, her ne kadar ışığın tanecikli yapıda olduğunu kanıtlayan bir olay olsa da günlük yaşamda kullanılan fotosellerin ortaya çıkmasını sağlamıştır. Fotoseller, üzerine düşen ışığı soğurarak elektrik akımına çeviren ve kullanıldıkları devrelerde anahtar görevi gören optoelektronik aygıtlardır. Fotoseller, iş güvenliğinden, enerji tasarrufuna değin hayatı kolaylaştıran birçok sistemde kullanılmaktadır.

- Musluklarda, sabunluklarda, kağıt havlu makinesinde ve el kurutma makinelerinde hijyen sağlamak için fotoseller kullanılır.
- Sokak lambalarında, apartmanlarda otomatik yanan lambalarda ve koridor aydınlatılmasında, açılıp kapanır kapılarda, para sayma makinelerinde, güvenlik kamera sistemlerinde, yangın ve duman dedektörlerinde, pozometrelerde ve birçok alanda fotoseller kullanılmaktadır.

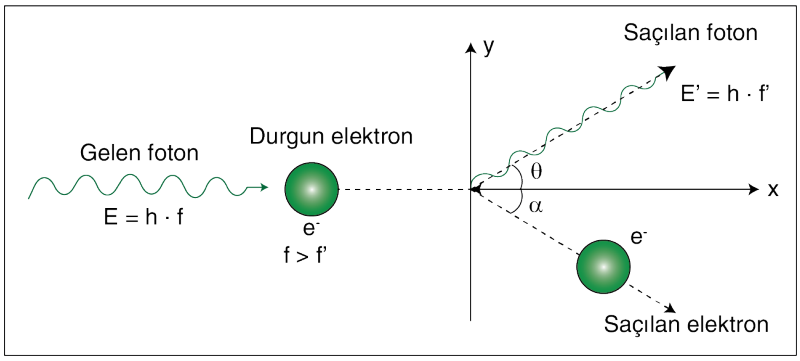
COMPTON SAÇILMASI VE DE BROGLİE DALGA BOYU

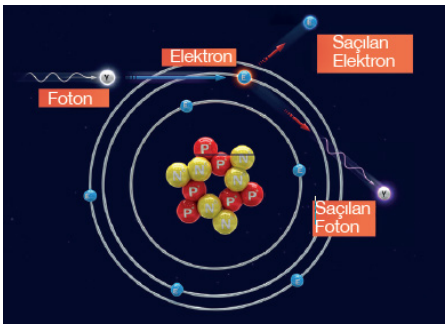
COMPTON OLAYI



Arthur Holly Compton
(1892-1962)

Compton, bir X-ışını fotonunun karbon atomunun son yörüngesindeki bir elektrona çarparak saçılmasını, fotonları belli bir enerjiye ve momentuma sahip parçacıklar gibi düşünerek açıklamıştır. Bu olayda X-ışını fotonunun enerjisi, elektronun karbon atomuna bağlanma enerjisinden çok büyük olduğu için bu elektron serbest veya durgun sayılabilir.





Şekil 1: Compton Olayı Modeli

Şekil 1'de Compton saçılması modeline göre, bir X-ışını fotonu, elektronlardan birine esnek olarak çarpmış ve enerjisinin bir kısmını elektrona aktararak saçılmaya uğramıştır. Bu olay, bilardo toplarının esnek çarpışmasına benzetilebilir.

Compton saçılmasında;

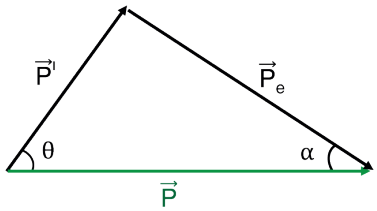
- Foton soğurulmaz.
- Gelen foton, saçılan foton ve elektron aynı düzlemdedir.
- Fotonun çarpışmadan önceki ve sonraki hızı (c) aynıdır. Foton ışık hızıyla hareketine devam eder.
- Çarpışmadan sonra fotonun enerjisi ve frekansı azalır ($E > E'$ ve $f > f'$)
- Saçılan fotonun dalga boyu gelen fotonun dalga boyundan büyüktür ($\lambda < \lambda'$)
- Gelen fotonun enerjisi ve momentumu, saçılan fotonun enerji ve momentumundan büyüktür.
- Çarpışma esnek olduğundan enerji korunur. Çarpışmadan önceki enerji çarpışmadan sonraki enerjiye eşittir. f gelen fotonun frekansı, f' saçılan fotonun frekansı, λ gelen fotonun dalga boyu, λ' saçılan fotonun dalga boyu ve E_K saçılan elektronun kinetik enerjisi olmak üzere,

$$E_{\text{gelen foton}} = E_{\text{saçılan foton}} + E_{\text{elektron (K)}}$$
$$h \cdot f = h \cdot f' + E_K$$

$$h \cdot \frac{c}{\lambda} = h \cdot \frac{c}{\lambda'} + E_K$$ bağıntıları yazılır.

- Momentum korunur.

Gelen fotonun momentumu (P), çarpışmadan sonra saçılan fotonun momentumu (P') ile saçılan elektronun momentumunun (P_e) vektörel toplamına eşittir.



$$\vec{P}_{ilk} = \vec{P}_{son}$$
$$\vec{P} = \vec{P}' + \vec{P}_e$$

- Işığın tanecikli yapısını destekler.
- Saçılan fotonun dalga boyu gelen fotonun dalga boyundan büyüktür. Compton; 0°, 45°, 90° ve 135° lik saçılma açıları için yapmış olduğu gözlemler sonucu saçılan fotonun dalga boyu ile gelen fotonun dalga boyu arasındaki farkı,

  $\Delta\lambda = (\lambda - \lambda') = \dfrac{h}{m_e \cdot c} \cdot (1 - \cos\theta)$ olarak bulmuştur.

  Bu eşitlikteki θ açısı, fotonun geliş doğrultusuyla saçılma doğrultusu arasındaki açıdır.

  $\dfrac{h}{m_e \cdot c} = \lambda_c$ eşitliği Compton Dalga Boyu olup 0,024 Å'a eşittir.

COMPTON VE FOTOELEKTRİK OLAYLARININ KARŞILAŞTIRILMASI

Compton ve fotoelektrik olaylarının; fotonların hem enerji hem de momentum taşıyan parçacıklar olduğunu belirten benzer ve farklı yönleri vardır.

COMPTON OLAYI	FOTOELEKTRİK OLAYI
Yüksek enerjili fotonların serbest elektronlara çarparak saçılmasıdır.	Düşük enerjili fotonların atom tarafından soğrulması ve elektronun iyonize olmasıdır.
Foton, enerjisinin ancak bir kısmını elektrona aktaracağından soğrulmaz.	Foton, tüm enerjisini elektrona aktaracağından soğrulur.
Esnek çarpışma özellikleri taşıdığı için ışığın tanecikli doğasına ait net kanıtlar sunar.	Tanecikler arası etkileşim içerdiğinden ışığın tanecikli doğasını destekler.
Işığın madde ile etkileşimi söz konusudur. Etkileşim sonrası elektron enerji kazanır.	Işığın madde ile etkileşimi söz konusudur. Etkileşim sonrası elektron enerji kazanabilir.
Klasik yaklaşımla açıklanamaz.	Klasik yaklaşımla açıklanamaz.

IŞIĞIN İKİLİ DOĞASI

Işık hem dalga hem de tanecik özellikleri sergiler ve bu ikili doğası olayın türüne göre değişir. Fotonlar, ışığın enerji ve momentum taşıyan tanecikler olup ışık aynı zamanda elektromanyetik dalgalar gibi kırınım ve girişim özellikleri gösterir. Bazı durumlar foton kavramı ile ışığın tanecikli doğasıyla, bazı durumlarda ise ışığın dalga doğasıyla açıklanır.

Einstein, 1924'te bu ikili yapıyı kabul etmiş ve "iki ışık kuramı var, ikisinden de vazgeçilemez" demiştir. Kuantum mekaniği, bu iki model arasında bir bağlantı kurar.

Uzun dalga boylu ve düşük frekanslı radyo dalgaları, tanecik özellikleri göstermezken, kısa dalga boylarına sahip yüksek frekanslı ışık, hem dalga hem tanecik özellikleri sergiler.

Görünür ışık, hem girişim hem de yüzeyden elektron sökme özelliklerini gösterebilir. Daha yüksek frekanslar (kısa dalga boyları) ile fotonun enerjisi ve momentumu artar, bu nedenle ışığın tanecik doğası daha belirgin hale gelir. X ışınları veya gama ışınlarında, kırınım ve girişim olaylarını gözlemlemek daha zordur.

MADDE VE DALGA ARASINDAKİ İLİŞKİ

Louis de Broglie
(1892-1987)

Işığın ikili doğası, yani hem dalga hem de tanecik gibi davranması, karmaşık bir kavram gibi algılanabilir. Örneğin, bir taşın durgun suya atılması olayında, taşın tanecik olduğunu, su üzerinde oluşan dalgaların ise dalga özelliğini temsil ettiğini gösterir. Ancak fotonlar ve elektronlar gibi kuantum parçacıklarında, bu ayrım net değildir. Bir elektron tanecik olarak görülürken, bazı koşullarda dalga davranışları gösterebilir ki bu oldukça şaşırtıcıdır.

1924 yılında Louis de Broglie madde parçacıklarının da dalga gibi davranabileceğini ileri sürdü.

De Broglie her nesnenin kendine özgü bir dalga boyu olduğu yani tanecik dalga ikiliğinin sadece fotonlara özgü olmadığı fikrini ortaya koydu. Çift yarıkta girişim deneyinin elektronlarla tekrarında elektronların da perdede girişim deseni oluşturduğunun gözlenmesi madde dalgası fikrini güçlendirdi.

Bu gözlemler, parçacık olarak düşünülen elektronların ve protonların hatta daha büyük bazı moleküllerin bile dalga gibi davranabildiğini ortaya koydu.

De Broglie, elektronların dalga özelliklerini incelerken Planck'in belirli frekanstaki dalgaların enerjisi, $E = h \cdot f$ ile

Einstein'ın taneciklerin kütlelerinden dolayı sahip oldukları enerji, $E = m \cdot c^2$

eşitliklerini birbirine eşitleyerek dalga boyu (λ), kütle (m) ve ışık hızı (c) arasında bir bağıntı elde etmiştir.

$$h \cdot f = m \cdot c^2 \qquad \left(f = \frac{c}{\lambda}\right) \quad \Rightarrow \quad h \cdot \frac{c}{\lambda} = m \cdot c^2 \quad \Rightarrow \quad \lambda = \frac{h}{m \cdot c}$$

Bu eşitlikte c yerine v yazılırsa $\Rightarrow \lambda = \dfrac{h}{m \cdot v}$ $(P = m \cdot v)$ $\Rightarrow \lambda = \dfrac{h}{P}$ $\Rightarrow P = \dfrac{h}{\lambda}$

Bu eşitlik maddenin hem dalga karakterini (λ), hem de tanecik karakterini (m) ortaya koymaktadır. Bu eşitlikten yararlanılarak bir fotonun dalga boyu ile momentumu belirlenebilir.

De Broglie'ye göre P momentumlu maddesel bir tanecik, dalga özelliklerine ve dolayısıyla bir dalga boyuna da sahip olmalıdır. Bu dalgalar, teorik olarak olasılık dalgaları olup bir parçacığın belirli bir anda ve belirli bir konumda bulunma olasılığı hakkında bilgi verir. Bu dalgalara madde dalgaları, **de Broglie dalgaları** ya da **Schrödinger dalgaları** denir.

Işık bazı olaylarda tanecik gibi davranırken bazı olaylarda dalga yapısına sahiptir. Tabloda bazı ışık olaylarının ışığın hangi doğası tarafından açıklandığı verilmiştir.

IŞIK OLAYI	TANECİK MODELİ	DALGA MODELİ
Işığın yayılması	Açıklar	Açıklar
Işığın yansıması	Açıklar	Açıklar
Işık demetlerinin birbiri içinden geçişi	Açıklar	Açıklar
Gölge oluşumu	Açıklar	Açıklar
Işığın basıncı	Açıklar	Açıklar
Aydınlanma	Açıklar	Açıklar
Işığın kırılması	-	Açıklar
Polarizasyon(Kutuplanma)	-	Açıklar
Işığın aynı anda kırılması ve yansıması	-	Açıklar
Işığın renklerine ayrılması	-	Açıklar
Işığın girişimi	-	Açıklar
Işığın kırınımı	-	Açıklar
Fotoelektrik olay	Açıklar	-
X-ışınları	Açıklar	-
Compton olayı	Açıklar	-
Siyah cisim ışıması	Açıklar	-

GÖRÜNTÜLEME CİHAZLARI, LCD VE PLAZMA

GÖRÜNTÜLEME TEKNOLOJİLERİ

Bilimsel gelişmeler, günlük yaşam üzerinde önemli bir etki yaratır. Görüntüleme teknolojileri, bilimsel çalışmaların bir sonucu olup halen daha gelişmektedir. Büyük olan fotoğraf makinelerinin, zamanla daha küçük ve taşınabilir hale gelmesi, gözle görülemeyen küçük nesnelerin yanı sıra, uzayın derinliklerindeki büyük cisimlerin görüntülerinin elde edilebilmesi, maddelerin iç yapısı, toprağın altı ve iç organların detayları görüntülenmesi, varlıkların görüntülerinin anında başka bir yere aktarılması ve üç boyutlu hologramlar oluşturulması günümüz gelişmiş görüntüleme teknolojileri sayesinde mümkün olabilmektedir.

Bilimsel keşifler ve teknolojik gelişmeler, görüntüleme alanında büyük ilerlemelere yol açmış olup tıp, mühendislik ve eğitim gibi alanlarda yaşamı daha kolay hale getirmektedir.

1. Görüntüleme Cihazları

Fizikte yapılan keşifler yeni teknolojilerin üretilmesini sağlamakta olup başta tıp, eğitim, mühendislik alanlarında olmak üzere gelişen teknolojiler hayatı kolaylaştırmaktadır. Örneğin tıp alanında biyomedikal mühendislerin tasarladıkları birçok teknolojik ürün (MR, PET, röntgen, ultrason, bilgisayarlı tomografi vb.) sayesinde teşhis ve tedavi olanakları artmıştır.

Fizik yasaları temel alınarak oluşturulan ve insanoğlunun tanılama yeteneğini artıran bu teknolojilere **görüntüleme cihazları** denir.

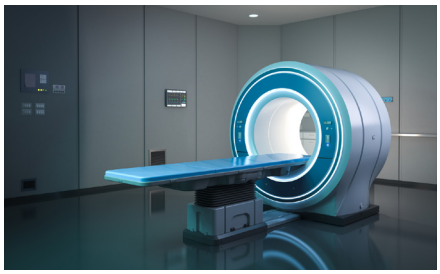
a. Röntgen

X ışınları, günümüz görüntüleme teknolojilerinin temelini oluşturur ve sağlık alanında önemli bir rol oynar. Alman fizikçi Wilhelm Conrad Röntgen, 1895'te X ışınlarını keşfetmiştir. X ışınları, elektromanyetik dalgaların bir türü olup hızlandırılmış elektronların bir metale çarparak ivmeli hareket yapması sonucunda oluşur.

Röntgen cihazı, X ışınlarını belirli bir bölgeye yönlendirir. Bu ışınlar, gönderildikleri bölgenin kalınlığı, yoğunluğu ve atomik yapısı gibi faktörlere bağlı olarak farklı oranlarda kırınıma uğrar ve röntgen filmi üzerinde bir görüntü oluşturur. Röntgen sayesinde doktorlar organların iç yapılarını inceleyebilirler.

Röntgen cihazları, yüksek enerjili X ışınlarını kullandığından, canlı dokulara zarar verebilir. X ışınlarının olası zararlarını önlemek için hastanelerde çeşitli güvenlik önlemleri alınmış ve röntgen çekimi yapılan alanlara uyarı levhaları yerleştirilmiştir.

b. Manyetik Rezonans (MR) Cihazı



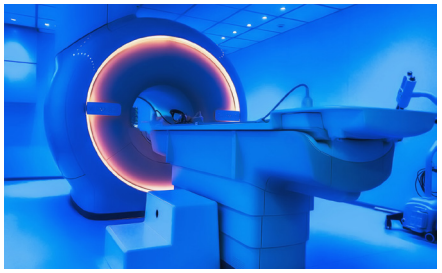
Manyetik rezonans görüntüleme (MRI), sağlık alanında kullanılan önemli bir görüntüleme yöntemidir. MR cihazı, canlı dokulara manyetik alan içinde radyo dalgaları göndererek, hidrojen atomlarının hareketini görünür hale getirir. Cihazın çalışma prensibi, hidrojen atomlarının çekirdeğinde bulunan protonların güçlü bir manyetik alanın etkisinde kalması ve bu protonlara radyo dalgaları gönderilmesiyle ilgilidir.

Hastalıklı dokulardaki su miktarı sağlıklı dokulara göre daha fazla olduğu için, hastalıklı dokulardaki proton yoğunluğu da yüksek olur. Radyo dalgaları ile etkileşime giren protonlar, yoğunluk, dağılım ve dizilişlerine göre farklı sinyaller üretir. MR cihazı, bu sinyalleri görüntüye dönüştürür.

MR cihazlarında radyasyon kullanılmadığından canlı dokulara zarar vermez.

MR cihazı, yumuşak dokuların görüntülenmesi, beyin ve omurilik hastalıklarının teşhisi ve kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının tespiti için kullanılır. Bu nedenle, MR, tıbbi teşhis ve tedavi planlamasında önemli bir araçtır.

c. PET (Pozitron Emisyon Tomografisi) Yöntemi



Pozitron emisyon tomografisi (PET), doku ve organların metabolik ve biyokimyasal işlevlerini ortaya çıkarmak için kullanılan bir görüntüleme cihazıdır. PET taraması sırasında hastaya damar içi radyoaktif madde enjekte edilir ve bu maddenin vücut içindeki hareketleri izlenir. PET cihazı, maruz kalınan düşük radyasyon miktarıyla çalıştığından, radyasyonun olumsuz etkileriyle karşılaşma riski düşüktür.

PET görüntüleri, MR görüntüleri ile birleştirilerek birleşik bir görüntüleme sağlayabilir ve böylece daha detaylı bilgiler elde edilir.

PET taramalarının çoğu günümüzde bilgisayarlı tomografi (BT) taraması ile birlikte yapılmaktadır. Bu birleştirilmiş tarama yöntemine PET/BT denir.

PET taraması, manyetik rezonans (MR) taramalarında tespit edilemeyen metabolik anormallikleri görüntüleyebilir. PET taraması, kanser, kalp rahatsızlıkları ve beyin bozuklukları gibi çeşitli hastalıkların teşhisinde yardımcı olur. Bu özellikleri sayesinde, PET taraması tıbbi teşhis ve tedavi sürecinde önemli bir rol oynar.

ç. Bilgisayarlı Tomografi Cihazı (BT)

Günümüzde tomografi cihazları, bilgisayar yazılımları ile birlikte çalıştığından bilgisayarlı tomografi olarak adlandırılmaktadır. Bilgisayarlı tomografi cihazında röntgen cihazından farklı olarak tek bir X ışını değil, farklı açılardan bir dizi X ışını kullanılır. Farklı açılardan birden fazla ışın kullanılarak bilgisayar yardımı ile daha detaylı bir görüntüleme yapılmaktadır. Bilgisayarlı tomografi, tıpta özellikle travmalar sonucunda oluşan iç yaralanmaları hızlı bir şekilde belirlemek için kullanılmaktadır. Bunun yanı sıra bilgisayarlı tomografi ile vücudun neredeyse tüm bölümleri görselleştirilebilmektedir.

Bilgisayarlı tomografide kullanılan X ışınları, canlı dokular için zararlı olabilmektedir.

d. Ultrason Görüntüleme Cihazı (USG)

Ultrason, insan kulağının duyamayacağı kadar yüksek frekansa sahip ses dalgalarına denir. Vücut içerisindeki organlar ve bölümler, farklı yoğunluğa sahip olduğu için ses dalgalarının bu ortamlardan geçiş hızı ve yansıması farklıdır. Gönderilen dalgaların ortamlardaki geçiş hızlarından ve yansımasından kaynaklanan farklılıkları algılayan cihazlar ile vücudun iç yapısının gerçek zamanlı bir görüntüsü elde edilir.

Ultrasonun en önemli avantajı, canlı vücuduna hiçbir zararının olmamasıdır. Bu nedenle kadın doğum doktorları, bebeğin anne karnındaki gelişimini, kardiyoloji doktorları kalp ile ilgili görüntüleri ultrason cihazları ile takip ederler.

Ultrasonik ses dalgalarından tıp, denizcilik ve asker savunmada yararlanılır.

e. Radarlar

Radar, elektromanyetik dalgaların yansıma özelliğini temel almaktadır. Radar tarafından yayınlanan radyo dalgaları veya mikrodalgalar, bir cisme çarpıp dönerek cismin konumu, hareket yönü ve hızı gibi niceliklerini belirlemektedir. Radarların farklı kullanım alanları bulunmaktadır. Askerî ve sivil alanlarda kullanılabilen radarlar, hava radarları ve yer radarları olmak üzere ikiye ayrılmaktadır. Özellikle meteoroloji radarları, hava durumunu takip etmekte önemli bir yere sahiptir. Radarlar, hava ve deniz trafiğini kontrol etmekte de kullanılmaktadır. Trafik polisleri tarafından araçların hızlarını kontrol etmek içinde radar cihazı kullanılmaktadır.

f. Sonar Cihazı

Sonar cihazı, yüksek frekanslı ses dalgalarının bir engele çarpıp yansımasına dayanarak çalışır. Günümüzde sonar cihazları, özellikle denizcilik sektöründe yaygın olarak kullanılmaktadır. Sonar cihazı, su altında ses dalgaları gönderir ve bu dalgalar bir cisimle karşılaştığında geri döner. Dalgaların bir hedefe gönderilmesi ve geri dönmesi arasında geçen süreye dayanarak cismin uzaklığı hesaplanır. Elde edilen veriler, bilgisayarda işlenerek hedefin görüntüsü oluşturulur.

Sonar cihazları, deniz altı haritaları oluşturmak, denizaltı maden araştırmaları yapmak, balıkçılık ve askerî donanmalarda yaygın şekilde kullanılır. Balıkçılar, sonar yardımıyla balık sürülerinin yoğunluğunu, türlerini ve derinliğini tespit edebilir.

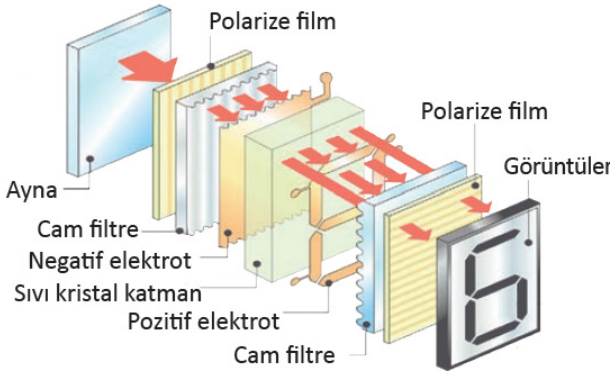
f. Termal Kameralar

Termal kameralar, cisimlerin şekillerini ve yaydıkları kızılötesi ışıma yoğunluklarını görüntüleme sistemidir. Sıcaklıkları -273 °C (0 K)'nin üstündeki sistemler etraflarına enerji yayar.

Termal kameralarda maddeler yaydığı ısı enerjisine göre farklı renklerde görüntülenir. Termal kameralar genellikle güvenlik alanlarında kullanılmaktadır. Özellikle gece görüş sistemlerinde, güdümlü füze ve benzeri askerî sistemlerde termal kameralardan yararlanılır.

2. LCD VE PLAZMA TEKNOLOJİLERİ

a. LCD (Sıvı Kristal Ekran) Teknolojisi



LCD ekran katmanları

LCD (Liquid Crystal Display - Sıvı Kristal Ekran), sıvı kristal teknolojisini kullanarak görüntü oluşturan bir ekran teknolojisidir. LCD teknolojisi, geniş bir uygulama alanında kullanılır ve günlük hayatta çoklukla karşılaşılan bir ekran türüdür.

LCD panellerin görüntü oluşturma sistemi, bazı katmanların üst üste getirilmesiyle sağlanır. Bu katmanlar arkadan öne doğru

- Yansıtıcı ayna
- Polarize film ve cam filtre
- Negatif (-) elektrot
- Sıvı kristal katman
- Pozitif (+) elektrot
- Cam filtre ve polarize film

şeklinde sıralanır.

Elektrik akımı sıvı kristal moleküllerini hizalayarak ışığın yönünü değiştirir. Bu süreç, ışığın ne kadarının geçeceğini belirleyerek renklerin ve görüntülerin oluşmasını sağlar. LCD teknolojisi, bilgisayar monitörleri, televizyonlar, uçak kokpit ekranları, projektörler, saatler, dijital kameralar, cep telefonları ve hesap makineleri gibi birçok cihazda kullanılır.

LCD'nin Avantajları:

Düşük Enerji Tüketimi: LCD'ler, CRT (Katot Işınlı Tüp- Tüplü Tv) ekranlara kıyasla daha az enerji tüketir.

İnce ve Hafif Tasarım: LCD ekranlar, CRT ekranlara(Tüplü televizyon) göre çok daha ince ve hafiftir.

Düşük Isı Üretimi: LCD'ler, daha az ısınırlar.

LCD'nin Dezavantajları:

Düşük Görüş Açısı: LCD ekranların bazı türlerinde görüş açısı sorunları olabilir. Ekrana farklı açılardan bakıldığında renk kaymaları görülebilir.

Yavaş Tepki Süresi: Bazı LCD ekranlar, hızlı hareket eden görüntülerde iz bırakma veya bulanıklık sorunu yaşayabilir.

b. Plazma Teknolojisi

Plazma teknolojisi, gazların yüksek sıcaklık ve basınç altında iyonize olarak plazma hâline dönüştüğü prensibe dayanır. Plazmalar, elektriksel olarak iyi iletkenlerdir ve elektrik akımı ile ışık yayarlar. Plazma ekranlarda, her bir alt piksel, içerdiği neon ve xenon gaz karışımları ile kırmızı, yeşil veya mavi gibi ana renkleri üretir. Bu alt piksellerin farklı kombinasyonları ile ekranda dijital görüntüler oluşturulur.

Plazmalardan ekran haricinde farklı alanlarda da yararlanılır. Floresan ve neon lambaları plazmalara örnek olarak verilebilir. Bunun yanında plazma teknolojisi, biyolojide sterilizasyon işleminde, kâğıt ve uzay endüstrisinde, elmas yapımında, elektronik çöp yapımında, iletişim teknolojisinde, kaplama ve metal kesim alanlarında kullanılmaktadır.

Plazma Ekranların Avantajları:

Parlaklık ve Renk: Plazma ekranlar, kendi ışıklarını üretebildikleri için genellikle yüksek parlaklığa ve geniş bir renk yelpazesine sahiptir.

Yenileme Hızı: Plazma ekranlar, yüksek yenileme hızlarına sahip olduklarından hareket bulanıklığı ve görüntü gölgelenmesi daha az olur.

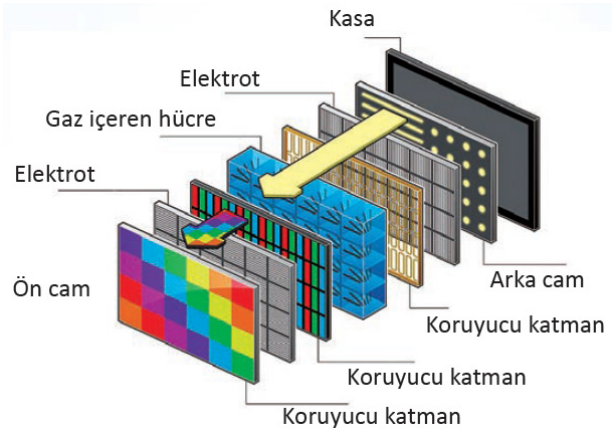
Geniş Görüş Açısı: Plazma ekranlar, geniş bir görüş açısı sunar. Bu, farklı açılardan bakıldığında bile görüntü kalitesinin yüksek kalmasını sağlar.

Plazma Ekranların Dezavantajları:

Enerji Tüketimi: Plazma ekranlar, LCD ekranlara göre daha fazla enerji tüketir.

Ağırlık ve Kalınlık: Plazma ekranlar, LCD ekranlara göre genellikle daha kalın ve ağırdır.

Ekran Yanması ve Ömrü: Uzun süre aynı görüntü ekranda kaldığında ekran yanması riski vardır ve plazma ekranların parlaklığı zamanla düşebilir ve ömürleri genellikle LCD ekranlardan daha kısadır.



Plazma ekran katmanları

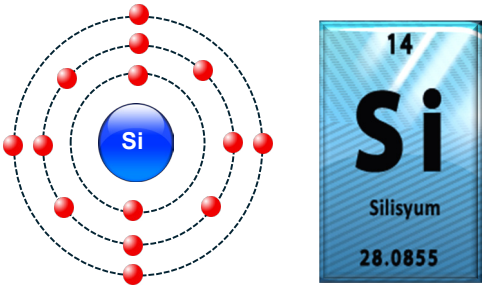
YARI İLETKEN TEKNOLOJİSİ

YARI İLETKEN MADDELERİN ÖZELLİKLERİ

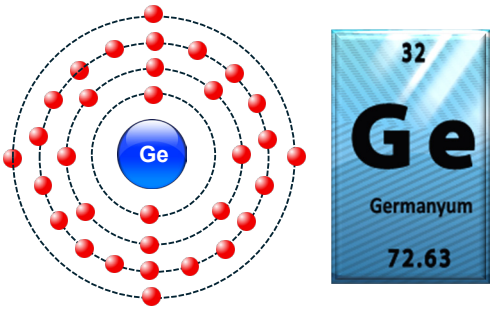
Üzerinden elektrik akımının geçişine izin veren maddelere iletken maddeler, elektrik akımının geçişine izin vermeyen maddelere ise yalıtkan maddeler denir. Üzerinden geçen elektrik akımına karşı gösterdiği direnç iletken ve yalıtkanlar arasında olan maddelere yarı iletken maddeler denir.

Yarı iletkenler, normal şartlar altında yalıtkan maddelerdir. Yarı iletkenler dışarıdan ısı, ışık, manyetik etki veya gerilim altında bırakıldıklarında iletken hâle geçebilmektedir ve dış etki kaldırıldığında tekrar yalıtkan hâle dönmektedir.

Yarı iletkenler, doğada basit hâlde bulunabildiği gibi bileşik olarak laboratuvarlarda da üretilebilmektedir. Germanyum (Ge), silisyum (Si), selenyum (Se), bakır oksit (CuO), galyum arsenit (GaAs), indiyum fosfor (InP), kurşun sülfür (PbS) sıklıkla kullanılan basit ve bileşik hâldeki yarı iletkenlere örnek gösterilebilir.



Silisyum atom modeli



Germanyum atom modeli

- **Yarı iletkenlerin elektron diziliminde, son yörüngelerinde (valans yörüngeleri) 4 elektron bulunmaktadır.**
- **Yarı iletkenler, son yörüngelerindeki 4 elektronu 8 elektrona tamamlama eğilimindedir.**

Bu nedenle yarı iletkenler, kovalent bağ ile son yörüngelerindeki elektron sayısını 8 elektrona tamamlar. Elektronik sistemlerde en çok silisyum ve germanyum yarı iletkenleri kullanılmaktadır. Silisyum ve germanyum saf hâlde kullanılmaz.

Silisyum ve germanyum başka maddelerle katkılanarak N tipi ve P tipi yarı iletken maddeler elde edilmektedir.

N tipi(negatif) yarı iletken maddeler

Silisyum veya germanyumun arsenik(veya bizmut, fosfor, antimon) gibi son yörüngesinde 5 elektron bulunan bir madde ile katkılanması sonucu oluşturulan kovalent bağda 1 elektronun serbest kalması ile elde edilmektedir.

N tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan katkı maddeleri elektron çoğalmasına neden olduğundan bunlara verici (donör) denir.

P tipi (pozitif) yarı iletken maddeler

Silisyum veya germanyumun indiyum (veya galyum, bor, alüminyum) gibi son yörüngesinde 3 elektron bulunan bir madde ile katkılanması sonucu oluşturulan kovalent bağda meydana gelen oyuğun (boşluğun) elektron almak istemesi ile elde edilir.

P tipi yarı iletkenin oluşumunda kullanılan maddeler elektron azalmasına neden olduklarından bunlara **alıcı (akseptör)** adı verilir.

YARI İLETKENLERİN ÖZELLİKLERİ:

- İletkenlik bakımından iletken ve yalıtkanlar arasındadır.
- Normal hâldeyken yalıtkandır.
- Isı, ışık ve manyetik etki altında gerilim uygulandığında geçici iletkenlik özelliği kazanır.
- Tabiatta bulunduğu gibi laboratuvar ortamında da bileşik olarak elde edilebilir.
- Kristal yapıya sahiptir. Atomları kübik kafes sistemine uygun belirli bir düzende sıralanmıştır.

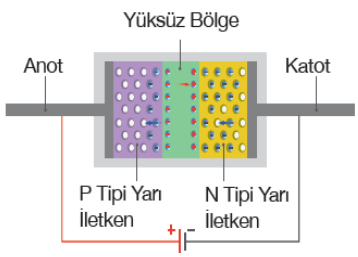
YARI İLETKEN MALZEMELERİN TEKNOLOJİDEKİ ÖNEMİ

P-N Eklemi

Yarı iletkenlerin katkılanmasıyla oluşturulan P ve N tipi maddeler, tek başlarına kullanıldıklarında elektrik akımını iki yönlü taşıyabildiklerinden elektronik devreler için yeterli olmamaktadırlar. Bu nedenle P ve N tipi maddeler birleştirilerek P-N eklemleri oluşturulmaktadır.

P-N eklemleri kullanılarak farklı devre elemanları üretilmektedir. Diyot, transistör, LED ve güneş pili yarı iletkenlerden yapılan ve sıklıkla kullanılan devre elemanlarıdır.

Diyot



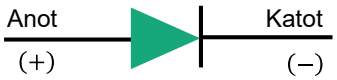
Diyotun yapısı

P ve N tipi yarı iletkenlerin birleşmesi ile oluşan ve tek yönlü akım ileten devre elemanına diyot denir.

Diyotun bir yöndeki direnci ihmal edilebilecek kadar küçükken diğer yöndeki direnci çok büyüktür. Diyot, tek yönlü akım iletmesinden dolayı tek yönlü bir anahtarlama elemanı olarak çalışmaktadır.

Diyotun P kutbuna “anot”, N kutbuna da “katot” adı verilir. Diyotun anodundan katoduna doğru akım gönderildiğinde akım geçişi olmakta fakat tersi yönde akım gönderildiğinde akım geçişi olmamaktadır.

Diyotlar, alternatif akımı doğru akıma çevirmekten devre sinyallerini ayrıştırmaya kadar birçok farklı alanda kullanılmaktadır.



Diyotun devredeki gösterimi

Transistör

Transistör

Elektronik sinyallerin akışını kontrol eden veya devrede anahtarlama elemanı olarak görev yapan yarı iletkenlerden yapılmış bir devre elemanıdır.

Transistörler, günümüzde kullanılan elektronik cihazların en temel bileşenlerinden biridir. Yapısal olarak diyoda benzeyen transistörlerin diyotlardan başlıca farkı, 3 yarı iletkenin birleşmesinden oluşmasıdır. Transistörler, 2 P tipi ile 1 N tipi yarı iletkenin veya 1 P tipi ile 2 N tipinin birleşmesinden meydana gelmektedir.

Günümüzde kullanılan teknolojik araçların, işlemcilerinin içerisinde milyonlarca transistör bulunmaktadır. Transistörler 22 nanometre, yani saç telinin 5 binde biri boyutunda olup bilgisayar işlemcisinde kullanılan transistörlerin sayısı arttıkça o işlemcinin hızı ve yapabildiği işlem sayısı da artmaktadır. Örneğin bilgisayarlarda kullanılan 4 çekirdekli yüksek performanslı işlemcilerde yaklaşık 1,7 milyar transistör bulunmaktadır.

LED Teknolojisi

LED Işıklar

LED kısaltması, "ışık yayan diyot" anlamına gelen Light Emitting Diode (Layt Imiding Dayd) kelimelerinin baş harflerinden meydana gelmektedir. LED bir tür diyot olup LED’lerin devredeki temel görevi ışık yaymaktır. LED’ler farklı renklerde ışık yayabilmektedir.

LED’lerin akkor ampullere göre birçok avantajı bulunmaktadır. Bu avantajlardan bazıları şu şekildedir.

- Daha uzun ömürlü olması
- Enerji sarfiyatının daha az olması
- Çevresel faktörlerden daha az etkilenmesi

- Tasarım esnekliğine sahip olması
- Düşük voltajla çalışabilmesi
- Daha güvenli olması
- Ultraviyole ışık yaymaması

Avantajlarından dolayı LED'lerin kullanım alanları oldukça geniştir. LED'ler ekranlardan mekân aydınlatmasına, araç farlarından kumandalara kadar birçok alanda kullanılmaktadır.

Fotodiyot

TV kumandası (Fotodiyot)

LED'lerin tersi olarak ışık enerjisini elektrik enerjisine çeviren devre elemanlarına fotodiyot denir. Fotodiyotlar, alarm sistemlerinde, TV, müzik seti gibi cihazların uzaktan kumanda aletlerinde, otomatik açılır kapanır kapı sistemlerinde ve otomatik çalışan gece lambalarında ışık algılayıcısı olarak kullanılmaktadır.

Fotodirenç

Sensörlü lamba (Fotodirenç)

Üzerine düşen ışık yoğunluğu arttığında direnci düşen devre elemanına fotodirenç (LDR) denir. Fotodirençler aydınlatma sistemlerinde kullanılmaktadır. En sık uygulama alanı ise sensörlü lamba sistemleridir. Yine dış kapı zillerinde bulunan buton aydınlatma devresinin içinde fotodirenç vardır.

Güneş Pilleri

Güneş pilleri veya fotovoltaik pil, güneş ışığını doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren cihazlardır. Güneş pilleri, temel olarak yarı iletken malzemeler kullanılarak yapılmıştır ve genellikle silisyum tabanlıdır. Güneş pilleri N ve P tipi tabakaların üst üste getirilmesi ile elde edilir

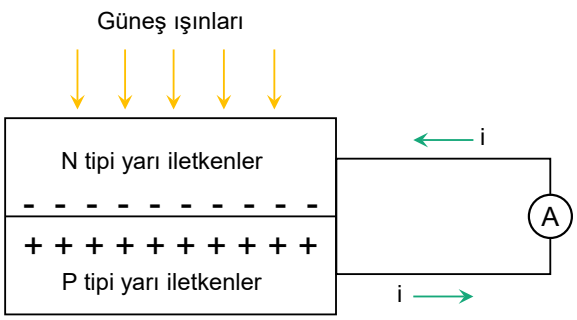
Güneş pillerinin çalışma prensibi,

1. Fotovoltaik Etki: Güneş ışığına maruz kalan yarı iletken malzemelerde, güneş ışığının enerjisi elektronların hareketine neden olur ve fotonların yarı iletkenin valans bandındaki elektronları enerji vererek taşıma bandına (iletkene) çıkarmasıyla gerçekleşir.
2. Elektron Akışı: Taşıma bandına çıkan bu elektronlar, devre üzerindeki bir yük akışı oluşturmak için hareket ederler. Bu akış, güneş pili terminalleri arasındaki devre boyunca gerçekleşir.
3. Akım Üretimi: Elektronların akışı, güneş pili terminalleri arasında bir gerilim oluşturur. Bu gerilim, elektriksel bir akımın devrede dolaşmasını sağlar. Bu akım, güneş ışığının yoğunluğuna ve güneş pili tasarımına bağlı olarak değişir.

Güneş pilleri, elektrik enerjisi üretmek için genellikle büyük bir panel şeklinde kullanılır. Bu paneller, genellikle evlerde, işyerlerinde ve endüstriyel tesislerde elektrik üretimi için çatılara veya arazilere monte edilir. Ayrıca, uzay araçları, uydular ve taşınabilir elektronik cihazlar gibi uygulamalarda da kullanılırlar.

Güneş pilleri, temiz ve sürdürülebilir bir enerji kaynağıdır çünkü güneş ışığına dayanırlar ve yakıt tüketmezler veya sera gazları salmazlar. Bu nedenle, güneş enerjisi giderek daha popüler hale gelmektedir ve yenilenebilir enerji üretiminde önemli bir rol oynamaktadır.

Güneş Pilinin Yapısı



Bir güneş hücresinin yapısında N ve P tipi yarı iletken maddeler bulunur. Güneş hücresine gelen fotonlar, N tipi yarı iletkenden elektronlar kopararak P tipi yarı iletkendeki elektronların alttan yukarı doğru hareketine neden olur. Böylece N tipi yarı iletkenden P tipi yarı iletkene doğru akım oluşur.

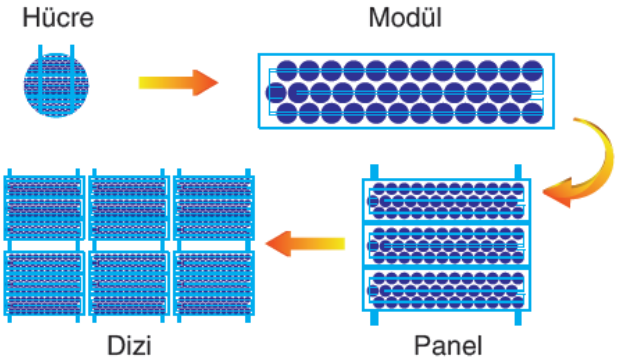
Bu olay, her iki tarafta yük dengesi oluşuncaya kadar devam eder.

Güneş panelleri

Güneş enerjisi ile elektriğini üreten bir ev

Güneş enerjisi ile çalışan araba tasarımı çalışması

Güneş Enerjisi Sistemlerinin Yapısı



Güneş pilleri, ışığı doğrudan elektrik akımına dönüştüren (fotovoltaik) araçlardır. Yarı iletken bir diyot olarak çalışan güneş hücrelerinin bir araya getirilmesi ile modül, panel ve diziler oluşur. Güneş ışığının taşıdığı enerjiyi güneş hücrelerinde, iç fotoelektrik reaksiyondan faydalanarak doğrudan elektrik enerjisine dönüşür.

Günümüzde güneş enerjisi ile çalışan araba modelleri geliştirme çalışmaları devam etmektedir. Bugüne kadar geliştirilen arabaların günlük yaşamda kullanımı pek mümkün olmamıştır. Bunun yanında güneş enerjisi ile çalışan deniz ve hava araçlarının geliştirilmesi çalışmaları devam etmektedir.

Güneş enerjisi yenilebilir enerji kaynaklarından biridir. Çevreyi kirletme özelliği yok denecek kadar azdır. Ülkemizde güneşlenme süresi yeterli düzeyde olduğu için bu enerji kaynağının yaygınlaşması ülke kaynaklarının tasarruflu kullanılmasını sağlayacaktır. Bu konuda her kademede yapılan çalışmalar çok değerli olup ufkumuzu genişletecektir.

SÜPER İLETKENLER

Sıcaklığı belirli bir değerin altına düşürüldüğü zaman doğru akıma karşı elektriksel dirençleri sıfır olan malzemelere **süper iletken** denir.

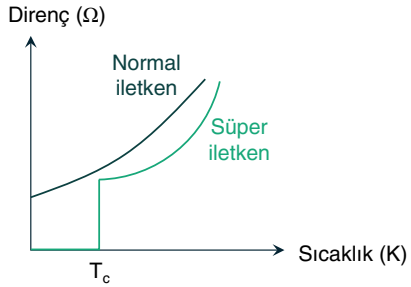
Süper iletkenlik, belirli bir sıcaklık altında doğru akıma karşı elektriksel direncin sıfır olması veya sıfıra yaklaşması ve manyetik alanın dışlandığı malzemelerde görülür. Süper iletkenler, düşük sıcaklıklarda belirli bir kritik sıcaklık altında çalışır. Elektrik akımı, süper iletken malzeme boyunca sonsuza kadar akabilir ve hiçbir enerji kaybı yaşanmaz.

Süper iletkenlik özellikleri şunlardır:

Elektrik direncinin sıfıra yaklaşması veya sıfır olması:

Belirli bir kritik sıcaklık altında, süper iletken malzemelerde elektrik direnci kaybolur veya çok küçük bir değere iner. Bu sayede elektrik akımı süper iletken malzeme boyunca hiçbir dirençle karşılaşmadan akabilir.

Kritik sıcaklık (T_c):



İletkenlerin ve süper iletkenlerin sıcaklığa bağlı değişim grafiği

Süper iletkenlik genellikle belirli bir sıcaklık altında gerçekleşir. Malzemenin kritik sıcaklığı, malzemenin türüne ve bileşimine bağlı olarak değişir. Bazı süper iletkenler sıvı helyum sıcaklıklarında süper iletken hale gelirken, diğerleri daha yüksek sıcaklıklarda süper iletkenlik gösterebilir.

Manyetik özellikler:

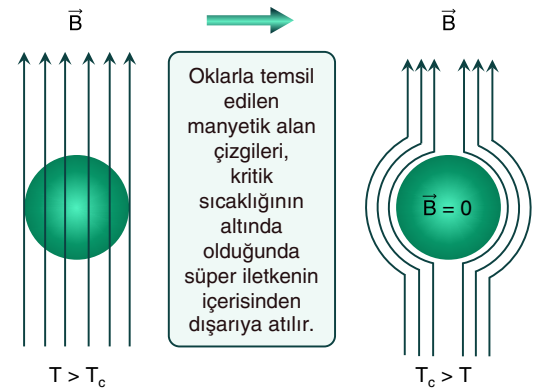
Süper iletkenler, manyetik alanları güçlü bir şekilde dışlayabilir. Bu özellik, manyetik levitasyon gibi uygulamalarda kullanılır. Manyetik levitasyon, nesnelerin havada asılı kalmasını sağlayan bir teknolojidir ve süper iletkenler bu teknolojinin temelini oluşturur.

- **Süper iletkenlik akımı:**

Süper iletken bir halka veya tel, bir akımın sonsuza kadar döngüsel olarak akmasını sağlayabilir. Bu, süper iletken halkaların mükemmel elektriksel kuantum devreler oluşturmasını sağlar.

- **Soğutma:**

Süper iletkenlik genellikle düşük sıcaklıklarda gerçekleşir, bu nedenle birçok süper iletken uygulaması için soğutma gereklidir. Soğutma, malzemenin kritik sıcaklığının altında kalmasını sağlar.



Süper iletkenlerin tamamı Meissner (Maysner) etkisi olarak adlandırılan bir özellik gösterir. Bu etki, süper iletken malzemelerin süper iletken durumdayken (sıcaklığı kritik sıcaklığın altındayken) manyetik alanı dışlamasıdır.

Manyetik alanı tümüyle dışlama özelliğine **diyamanyetik özellik** denir.

Dış manyetik alanın şiddeti, süper iletken bir malzemenin içine girdikten çok kısa bir süre sonra sıfırlanır. Bu nedenle tüm süper iletkenler kusursuz diyamanyetik özellik gösterir.

Süper iletkenlik, birçok uygulama alanında kullanılmaktadır, ancak düşük sıcaklık gerekliliği bazı zorluklar doğurabilir. Bu nedenle, süper iletkenlik alanında sıcaklık toleranslarının artırılması ve yeni malzemelerin araştırılması devam etmektedir.

SÜPER İLETKENLERİN TEKNOLOJİDEKİ KULLANIM ALANLARI

Süper iletkenler; manyetik güç depolama sistemleri, maglev trenleri, maglev rüzgâr türbinleri, parçacık hızlandırıcılar, süper iletken kablolar gibi teknolojilerde kullanılmaktadır.

Maglev Trenleri (Manyetik levitasyon)

Maglev Treni (Manyetik levitasyon)

Manyetik levitasyon prensibini kullanarak hareket eden trenlerdir. Bu trenlerde süper iletken malzemelerin manyetik itme kuvveti (Meissner etkisi) kullanılır ve tren havada asılı kalır. Maglev trenlerinde geleneksel motorlar yerine elektromıknatıslar kullanılır. Trenin tabanındaki ve raylardaki elektromıknatıslar arasında bir manyetik itme kuvveti oluşur ve bu kuvvet trenin raya temas etmeden hareket etmesini sağlar. Bu sayede sürtünme kaynaklı enerji kaybı en aza indirilir.

MAGLEV trenlerinin çalışma prensibi 3 döngüye dayanmaktadır.

1. döngüde, manyetik kuvvet yardımı ile tren dikey olarak raydan yaklaşık 12,7 cm yükseltilir.

2. döngüde, tren yatay olarak uygun bölümde tutulur.

3. döngüde, tren manyetik kuvvetin etkisi ile hareket ettirilir.

Maglev trenleri, 500 km/saat hıza ulaşabilen yüksek hızlı trenlerdir ve bu hız, bir uçağın ortalama uçuş hızına yakındır.

Parçacık Hızlandırıcılar

Parçacık hızlandırıcı tüneli

Parçacık hızlandırıcılar, yüklü temel parçacık demetlerini elektrik alanının yardımıyla hızlandırır ve manyetik alanın yardımıyla bir arada tutar.

Bu sistemlerde süper iletkenler kullanılarak yüksek hızlara ulaşan parçacıklar çarpıştırılır. Elde edilen veriler, parçacık fiziği ve nükleer fizik alanlarının yanı sıra petrol ve gaz rezervlerinin belirlenmesi, nanoteknoloji, nükleer atıkların temizlenmesi, biyoteknoloji, gen bilimi, gıda sterilizasyonu, savunma sanayi gibi birçok alanda kullanılır.

Dünyanın en büyük ve güçlü parçacık hızlandırıcısı Large Hadron Collider (LHC), Avrupa Nükleer Araştırma Merkezi'nin (CERN) parçacık hızlandırıcı kompleksindedir.

Bu parçacık hızlandırıcı, parçacık hızlandırıcı tüneli içinde çalışır ve temel parçacıkların çarpıştırılmasıyla çeşitli bilimsel araştırmaların ve keşiflerin yapılmasına olanak tanır.

NANOTEKNOLOJİ

NANOBİLİM VE NANOTEKNOLOJİ

Nanobilim:

Maddenin nano boyutundaki fiziksel, kimyasal ve biyolojik özelliklerini inceleyen bir disiplinler arası bilim dalına nanobilim denir. Atomları tek tek görüntüleyebilen taramalı tünelleme mikroskobunun geliştirilmesi, nanobilimin temellerini atmıştır. Yunanca "nano" kelimesi cüce anlamına gelir ve uzunluk ölçüsü olarak bir nanometre, metrenin milyarda birine eşittir (1 nm = 10^{-9} m).

Nanoteknoloji:

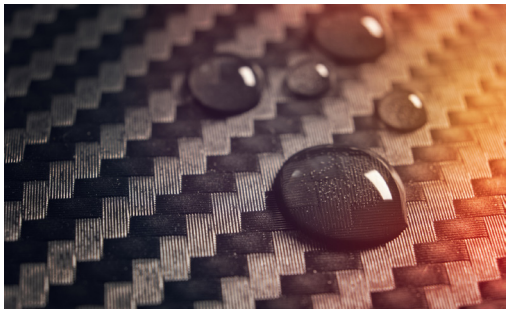
Nanobilim alanında çalışan bilim insanlarının nano boyutlu maddeleri işlemek ve kullanmak için geliştirdikleri uygulamalara nanoteknoloji denir. Fizik, kimya, optik, elektrik gibi alanlarda var olan maddelere kıyasla daha kullanışlı ürünlerin ortaya çıkarılması hedeflenir. Fizik bilimi ile nanobilim ve nanoteknoloji arasında yakın bir ilişki vardır; fizikteki gelişmeler nanoteknolojiyi etkilerken, nanoteknolojideki ilerlemeler de fizik bilimine katkı sağlar.

Nanobilimin temel özellikleri ve hedefleri arasında atomlar ve moleküller düzeyinde olayların incelenmesi, 1 ila 100 nanometre boyutlarındaki yapıların özelliklerinin araştırılması ve bu boyuttaki maddelerin davranışlarının anlaşılması, ölçülmesi ve manipüle edilmesi bulunur.

Nanoteknolojinin temel özellikleri ve hedefleri arasında maddelerin atomik ve moleküler düzeyde etkilenmesini ve hareketlerini kullanarak malzemelerin tasarımı, üretimi ve kullanımının sağlanması gelmektedir. Nanoteknoloji tıp, elektronik, malzeme bilimi, enerji, çevre koruma gibi birçok alanda yenilikler getirerek, daha etkili ilaç teslim sistemleri, verimli güneş panelleri, dayanıklı malzemeler ve hafif/güçlü malzemeler gibi örnek uygulamalar sunar.

Nano teknolojide kullanılan nano yapılara örnek olarak nanoparçacıklar, nano teller ve kuantum noktaları verilebilir.

Nanoparçacıklar



Islanmayan kumaş
Karbon kumaş yüzeyindeki su damlaları kumaşı ıslatmaz.

Nanoparçacıklar, atomik veya moleküler düzeyde malzemenin özelliklerinde önemli değişikliklere neden olabilirler ve farklı malzemelerden oluşabilirler. Metaller (gümüş, altın), yarı iletkenler (silikon) veya yalıtkanlar (titanyum dioksit) nanoparçacıklar oluşturabilir.

Nanoparçacıkların özellikleri, boyutlarına, şekillerine, yüzey yapılarına ve kimyasal bileşimlerine bağlı olarak değişir. Bu özellikler, nanoparçacıkların elektronik, optik, manyetik, termal ve kimyasal davranışlarını etkiler ve bu nedenle çeşitli uygulamalarda kullanılmalarını sağlar.

Yaygın nanoparçacık uygulamaları arasında ilaç teslimi, güneş enerjisi, katalizörler, biyomedikal görüntüleme ve çevre kirliliği kontrolü bulunur. Ancak, nanoparçacıkların çevresel ve sağlık üzerindeki etkileri göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle, nanoparçacıkların üretimi, kullanımı ve bertarafı konusunda dikkatli bir şekilde yönetilmesi gerekmektedir.

Nano Teller

Nano teller, nanoteknoloji alanında önemli bir malzeme türüdür. Uzunlukları nanometre ölçeğinde olan bu ince teller, genellikle farklı malzemelerden üretilirler. Silisyum, galyum nitrat ve indiyum fosfattan yapılan yarı iletken nano tellerin üstün optik, elektronik ve manyetik özellikleri vardır. Nano teller, nanoteknoloji uygulamalarında geniş bir yelpazede kullanılmakta olup birçok avantaj sunarlar.

- Elektronik uygulamalarda, nano teller elektronik cihazlarda kullanılabilir. Nanometre boyutlarındaki bu teller, elektronik bileşenlerin daha küçük boyutlarda ve daha yüksek yoğunluklarda entegre edilmesine olanak tanır.
- Optik ve fotovoltaik uygulamalarda, nano teller optik cihazlarda ve güneş hücrelerinde kullanılabilir. Işığı daha etkin bir şekilde yakalayabilir ve güneş ışığını elektrik enerjisine dönüştürme verimliliğini artırabilirler.
- Sensörlerin yapısal bileşenleri olarak kullanılan nano teller, hassas sensörlerin üretilmesine imkan tanır.

- Biyoteknolojide, biyosensörlerde veya ilaç teslim sistemlerinde kullanılarak çeşitli uygulamalar bulunabilirler.
- Malzeme güçlendirme alanında, nano teller kompozit malzemelerde kullanılarak mukavemet ve dayanıklılığı artırabilirler. Nano tellerin özellikleri ve uygulamaları sürekli olarak araştırılmakta ve geliştirilmektedir.

KUANTUM NOKTALARI

Farklı özellikte kuantum noktaları içeren sıvalar, farklı renkte görülmesi

Kuantum noktaları, nanoteknoloji ve nanobilimde önemli olan bir tür yarı iletken kristal parçacıklarıdır. Boyutlarına bağlı olarak özellikleri değişen, elektronların enerji seviyelerini ve aralarındaki enerji farklarını belirleyen kuantum noktalarının boyutları, onların optik ve elektronik özelliklerini belirler. Yapay atom olarak da tarif edilen kuantum noktaları, ışığı farklı dalga boylarında emer veya yansıtır.

Kuantum noktaları birçok alanda kullanılmaktadır.

- Optik Uygulamalar: Kuantum noktaları, optik özellikleri sayesinde ışığı emebilir ve yeniden yayabilirler. Bu özellikleri, LED'ler, güneş hücreleri ve görüntüleme cihazları gibi optik uygulamalarda kullanılmalarını sağlar.
- Elektronik Uygulamalar: Yarı iletken özellikleri nedeniyle kuantum noktaları, elektronik cihazlarda kullanılabilirler. Transistörler ve fotodetektörler gibi elektronik cihazlarda potansiyel uygulamaları bulunmaktadır.
- Tıbbi Görüntüleme: Kuantum noktaları, tıbbi görüntüleme tekniklerinde kullanılabilirler. Tümörlerin ve diğer biyomedikal örneklerin daha net bir şekilde görüntülenmesini sağlayabilirler.
- Renkli Ekranlar: Renkli ve yüksek çözünürlüklü ekranlar için kuantum noktaları potansiyel bir alternatif olabilir.

Kuantum noktaları araştırmacılar ve endüstriyel uygulamalar için büyük ilgi çekmektedir ve araştırmalar yapılmaktadır. Ancak, üretim ve kullanımıyla ilgili bazı teknik ve güvenlik zorluklarının olduğu da göz önünde bulundurulmalıdır.

NANOMALZEMELER VE KULLANIM ALANLARI

Nanoteknolojide kullanılan malzemelere **nanomalzeme** denir ve bu malzemeleri inceleyen bilim dalına da **nanomalzeme bilimi** denir.

Çeşitli metaller, yarı iletkenler ve yalıtkan maddeler nano boyutlarda incelendiğinde, bu nanomalzemelerin mekanik, manyetik, optik ve kimyasal özelliklerinde büyük değişimler gözlemlenir. Örneğin, altın normalde sarı renkte ve reaksiyona girmezken, nano seviyede altın kırmızı renkli ve aktif bir malzeme haline gelir. Benzer şekilde, normalde kırmızımsı olan bakır nano boyutta cam gibi şeffaf olabilir.

Nanoteknoloji, malzemelerin bu değişken özelliklerini kullanarak yeni malzemeler ve uygulamalar geliştirir. Bu teknolojinin temel hedefleri, yeni nanomalzemeler üretmek ve büyük boyutlu maddelerin atomik yapısında değişiklikler yaparak bu maddelere yeni özellikler kazandırmaktır.

Nanoteknoloji ile üretilmiş birçok ürün hayatımızın önemli bir parçası haline gelmiştir. Organik ışık yayan diyotlar (OLED'ler), fotovoltaik filmler, çizilmeyen ve kendini temizleyen camlar, leke tutmayan kumaşlar, akıllı kumaşlar, biyolojik implantlar, nanoparçacıklı boyalar, karbon nanotüp örnekleri gibi birçok ürün nanoteknoloji ile üretilir. Tekstil sektöründe su tutmayan ve yanmayan kumaşlar gibi özel ürünler de nanoteknoloji sayesinde elde edilir. Otomobil boyalarının nanoparçacıklarla hazırlanması sonucu çizilmeyen boyalar üretilir.

Nanoteknoloji, hayatın her alanında kendini göstermektedir ve tarım, biyoloji, mekanik, elektronik, tıp ve kimya gibi birçok alanda uygulanır. Bu sayede geliştirilen yeni ürünler, hizmetler ve yöntemler günlük hayatı kolaylaştırır.

Vitray Camlar

Nanoteknoloji, vitray camların üretim ve performansında önemli yenilikler sunarak estetik ve fonksiyonel özelliklerini geliştirir. Nanoteknoloji vitray camlarda

- Renk ve ışık geçirgenliğini optimize ederek canlı ve parlak renkler elde ederek renklerin solmamasını sağlar.
- Vitray camların kırılma dirençlerini arttırarak çizilmelerine

karşı dirençli yüzeyler oluşturur aynı zamanda su ve kirin yüzeyden akmasını sağlayarak yüzey temizliğini sağlar.

- Vitray camları ısı kayıplarını azaltarak enerji tasarrufu sağlar, estetik görünümü arttırır ve mikroorganizmaların yüzeyde yaşamasını engelleyerek hijyen sağlar.
- Nanoteknoloji, vitray camların estetik ve fonksiyonel özelliklerini geliştirerek performansını ve dayanıklılığını artırır, enerji verimliliğini ve bakım kolaylığını iyileştirir.

İnce Filmler ve Yüzeyler

Kalınlığı nano boyuttaki ince filmler ve geliştirilmiş yüzeyler bir süredir kullanılmaktadır.

Silisyum tümleşik devrelerde birçok cihazın çalışması için ince filmler kullanılmaktadır. Film kalınlığı, atomik boyutlardadır. Yakıt hücrelerinde ve katalizörlerde, geniş yüzey alanı ve üstün aktivitesi bakımından, nanomalzemeler uygun çözüm olmaktadır. Örnek olarak arabalarda kullanılan katalitik konverteri gösterebiliriz. Katalitik konverter, arabaların egzozundan dışarı atılan gazları filtre eden sistemlerdir. Burada katalizör olarak nano boyuttaki platin, paladyum, rodyum ve son zamanlarda bunlara ek olarak altın parçaları kullanılmaktadır.

Katalitik konvertör ve yapısında kullanılan kimyasal elementlerin simgesi

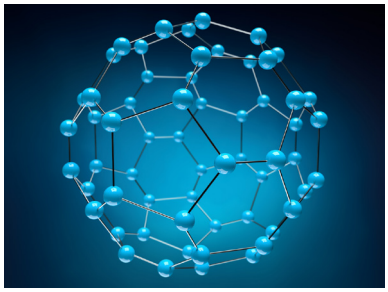
Fullerenler

Fullerenler, karbon atomlarının küresel, elipsoidal veya tübüler şekillerde düzenlenmesiyle oluşan nanokütledir. En yaygın türü, 60 karbon atomundan oluşan ve futbol topu şeklinde düzenlenen C_{60} molekülüdür. C_{60} molekülü (nano parça), kütle hâlindeki karbonda olmayan birçok özelliğe sahip olup tek duvarlı ve çok duvarlı karbon nano tüpleri üretilmiştir. Tek duvarlı nano tüpün çapı 1-2 nm, boyu ise en fazla birkaç cm düzeyindedir. Tek duvarlı karbon nano tüpün çekme dayanıklılığı, çeliğin 100 katı olup çelikten çok daha hafif, esnek ve aynı zamanda kırılmadan uzayabilmektedirler.

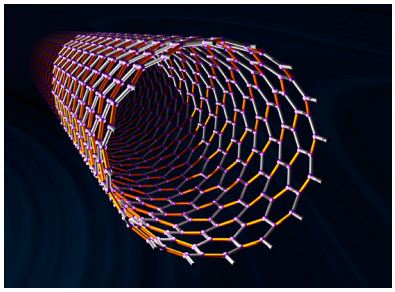
Fullerenler, nanoteknoloji ve malzeme biliminde önemli bir yere sahiptir.

Fullerenlerin uygulama alanlarına, organik elektronikler, fotovoltaik cihazlar, transistörler, nanoboyutlu kaplamalar, nanokompozit malzemeler, ilaç taşıma sistemleri, kanser tedavisi, biyomedikal araştırmalar, malzeme bilimine gerekli olan güçlü ve hafif malzemeler, süperiletken malzemeler, enerji depolama cihazları örnek olarak verilebilir.

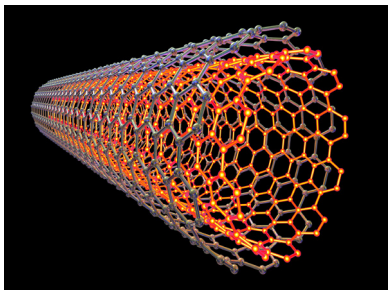
Karbon nano tüpler, çok üstün elektrik ve ısı iletkenliklerine sahiptir. Elektronik aletler küçüldükçe sıcaklığı uzaklaştırmakta önem kazanmaktadır. Nano tüplerin yaygın kullanımındaki en büyük engel, düşük maliyette, uygun ölçülerde ve belli bir şekilde sıralanmış biçimlerin üretiminin henüz gerçekleştirilememiş olmasıdır.



Fulleren molekül



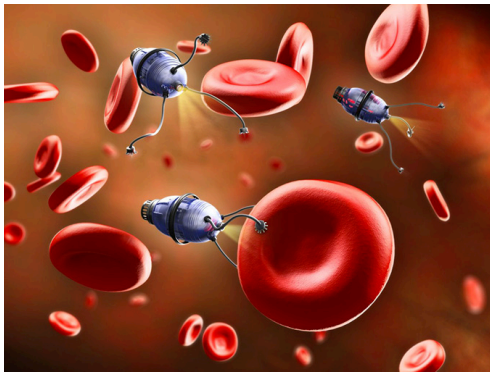
Tek duvarlı karbon nano tüp modeli



Çok duvarlı karbon nano tüp modeli

Biyolojide nanomadde ve nanoyapılar

Biyoloji, nanobilim ve nanoteknolojinin en yaygın ve umut verici uygulama alanlarından birini oluşturmaktadır. Canlıların en küçük yapıları olan hücreler ve hücrelerin yapısında bulunan DNA, RNA, lipitler, proteinler, polisakkaritler gibi yapılar, nano boyutlarda olduğu için canlı vücudundaki bu yapılar, taklit edilerek bunların gerçekleştirdiği etkileşimlerin uygulanması hedeflenmektedir. Moleküler biyoloji alanında, derinlemesine araştırma yapılmasında en büyük yardımcı nanobilim olacaktır. Görselde görüldüğü gibi hücresel boyuttaki nanorobotlar canlı vücudundaki küçük yapılara müdahale etme olanağı sunacaktır.



Nanorobotlar ile hücresel yapılara müdahale edilip virüslerin yok edilmesi yapılabilecektir.

Nanomaddelerin avantajları, nanomaddeler, belirli hücre veya dokuları hedefleyerek tedavi etkinliğini artırabilir, tıbbi görüntülemede daha net görüntüler elde edilmesini sağlar, ilaçların yan etkilerini azaltabilir.

Nanomaddelerin zararları, nanomaddelerin toksik etkisinin olmaması ve klinik deneylerinin kapsamlı bir şekilde yapılması gereklidir.

Nanomaddeler, biyolojide devrim niteliğinde yenilikler sunarak tedavi, tanı ve biyomedikal araştırmaların geleceğini şekillendirmektedir. Sürekli araştırmalar ve gelişmelerle, bu malzemelerin potansiyel kullanım alanları genişlemeye devam edecektir.

LASER IŞINLARI

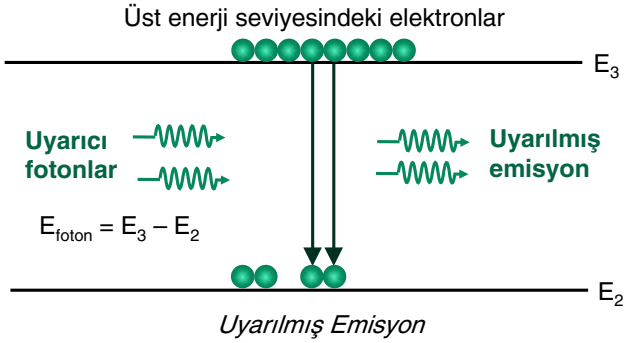
LASER IŞINLARININ OLUŞUMU

Uyarılmış Emisyon

Bir atomda üst enerji seviyesinde bulunan elektronların sayısı daha alt enerji seviyesinde bulunan elektronların sayısından fazla olursa bu duruma **yarı kararlı durum** denir.

Uyarılmış bir atomun elektronları yaklaşık 10^{-8} s sonunda ışıma yaparak temel hâle döner. Bu durumda elektronların kendiliğinden ışıma yapmalarına fırsat vermeden aynı anda tüm elektronların temel hale inmesi sağlandığında aynı enerjiye sahip ışımalar aynı anda gerçekleşir. Elektronların dışarıdan gönderilen fotonlarla etkileşime girerek daha kararlı alt yörüngelere geçmesi durumuna **uyarılmış emisyon** denir. LASER ışığı bu şekilde oluşmaktadır.

Uyarılmış emisyonun olması için gönderilen fotonun enerjisi iki yörünge arasındaki enerji farkı kadar olmalıdır. Yani gönderilen fotonun enerjisi $\mathbf{E_{foton} = E_3 - E_2}$ olur.

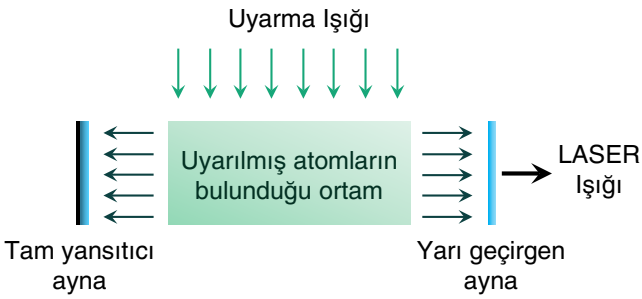


Uyarılmış Emisyon

Şekilde üst enerji seviyesindeki elektronların sayısı, alt enerji seviyesindeki elektronların sayısından fazladır. Bu durumda E_{foton} enerjili fotonlar buraya gönderildiğinde E_3 seviyesinde bulunan elektronların, E_2 seviyesine inmelerini sağlar. Bu olay alt enerji seviyesindeki elektronların sayısı, üst enerji seviyesindeki elektronların sayısından fazla oluncaya kadar devam eder.

LASER IŞINLARI

Laser kelimesi, **"Uyarılmış Emisyon Yoluyla Işığın Şiddetlendirilmesi"** anlamına gelen İngilizce ifadenin baş harflerinden oluşmuştur. Laser, atomların enerji düzeyleri arasındaki elektron geçişleri ile oluşan ışımalara dayanır. Uyarılmış emisyon yolu ile aynı fazlı, eşit frekanslı, eşit enerjili ve aynı yönlü fotonları oluşturan ışık kaynağına **laser** denir.



LASER ışığı üreten mekanizma

LASER ortamı, kaynağın türüne göre katı, sıvı veya gaz maddeler içerir. Bu ortama dışarıdan verilen enerji (ışık, elektrik deşarjı veya radyo dalgaları gibi) atomları uyararak elektronların üst enerji seviyelerine çıkmasını sağlar. Kısa bir süre sonra elektronlar eski yörüngelerine dönerken ışıma yapar. Bu ışımalar, tam yansıtıcı ve yarı geçirgen aynalar arasında yansıyarak diğer atomları da uyarır ve ışıma yapmalarına neden olur. Aynalar arasında yansıyan ışının enerjisi artar ve belirli bir seviyeye ulaştığında yarı yansıtıcı yüzeyden geçerek LASER ışığını oluşturur.

Laser Işınının Özellikleri

- Laser ışını aynı frekans ve fazda fotonlar oluşturduğu için tek renklidir ve bu renk Laser'in cinsine göre değişebilir.
- Normal ışın gibi dağılmaz, sapma miktarı oldukça az olup yönleri değiştirilebilir.
- Yüksek enerjili Laser ışınları delme, kesme, kaynak yapma vb. işlemlerde kullanılabilir.
- Laser ışını, atmosferik doğa olaylarından (yağmur, kar, sis vb.) etkilenir.

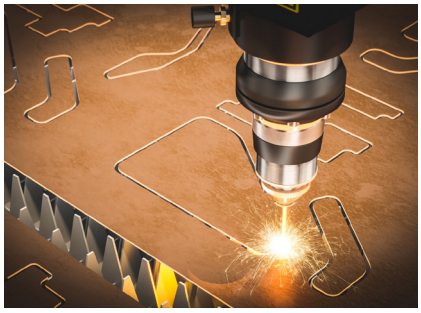
LASER IŞINLARININ KULLANIM ALANLARI

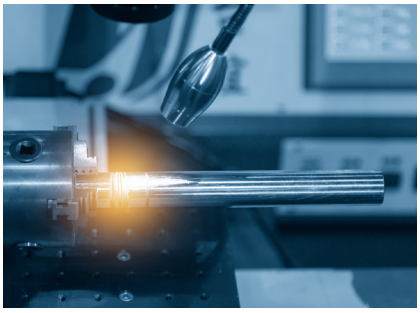
Bilim ve teknolojide birçok araştırmanın yürütülmesinde, ölçme, kontrol, uzaktan programlı kontrollerinde, dataların kaydedilmesinde ve iletilmesinde LASER kullanılmaktadır. Laserler uzay araştırmalarında ve evrenin keşfi sürecinde önemli bir araçtır. Laser teknolojisi, astronomi, uzaktan algılama ve uzay iletişimi gibi birçok alanda ileri araştırmaların gerçekleştirilmesini sağlar.

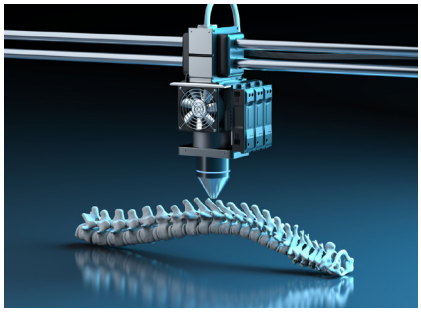
Malzeme Üretimi ve İşlenmesi

Laser kaynağı, kesim, delme, kaynak ve lehimleme işlemlerinde sanayide sıkça kullanılmaktadır. Otomobil, uçak, gemi, makine sanayisinde, çelik konstrüksiyonlarında LASER kaynağı tercih edilmektedir.

Laserler, ayrıca malzeme yüzeylerinin çok ince tabaka ile kaplanmasında kullanılır. Lazer 3D yazıcılar ile üç boyutlu karmaşık parçaların imalatı yapılabilmektedir.

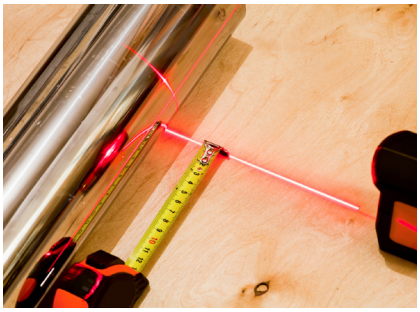

Laserle metal kesimi yapılması


Laserle metal kaynağı yapılması


Laser 3D yazıcı ile hazırlanan ürün

Ölçüm ve Analiz

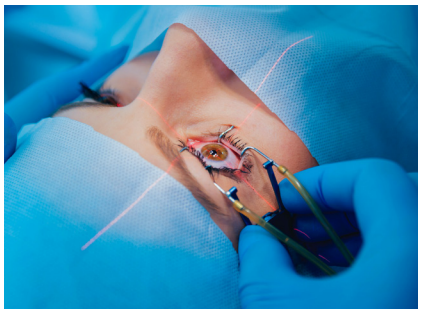
Laserler, mesafe, alan ve hacim ölçümlerini çok kısa sürede, temassız ve büyük hassasiyetle yapabilmektedir. Kara, deniz ve hava araçlarının hız tespiti LASER radarlarıyla gerçekleştirilir. Alışveriş merkezleri ve lojistik sistemlerde barkod okuma için kullanılır. Ayrıca, katı, sıvı ve gaz maddelerin içerik analizlerinde, malzeme tanılarında ve fiziksel-kimyasal büyüklüklerin tespitinde de LASER tercih edilmektedir.

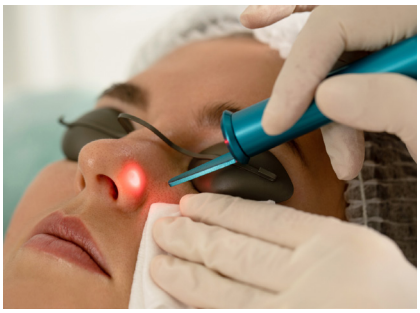

Laserle hassas ölçüm yapılması

Laserle barkod okuma

Tıp Alanı

Laserler, tıpta ve kozmetikte birçok hastalığın tanı ve tedavisinde yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Ameliyatlar, LASER sayesinde daha basit ve kansız gerçekleşir, hasta kısa sürede iyileşir. Eskiden tedavisi mümkün olmayan beyin tümörleri gibi hastalıklar günümüzde LASER ile tedavi edilebilmektedir. Ülkemizde LASER; kozmetik, epilasyon, estetik, güzellik merkezlerinde ben, leke, siğil, akne tedavilerinde ve cilt bakımlarında yoğun olarak kullanılır. Diş tedavisinde implant, dolgu, diş eti hastalıklarında ve göz hastalıklarında görme bozuklukları gibi rahatsızlıkların tedavisinde başarıyla uygulanır.


Göz operasyonunda laser kullanımı


Laserle cilt tedavisi

Laserle diş beyazlatma tedavisi

Gösteri, Eğlence ve Reklam Sektörü

CD ve DVD çalarlarda, blue-ray okuyucularda lazer ışığı kullanılır. Tarihî mekânların siluetlerinin ışıklandırılmasında ve eğlence mekânlarındaki lazerli ışık gösterilerinde lazer kullanılmaktadır Açık hava reklamcılığında, yönlendirme levhaları ve tabela yapımında LASER kullanılmaktadır.

Metal, pvc levha, ahşap, alüminyum panel gibi birçok reklam malzemesine LASER baskı, LASER oyma, LASER kesim işlemleri uygulanabilmektedir.

Işık gösterilerinde laser kullanımı

Laser oyma ile yapılmış panel

Savunma Sanayii Alanı

Savunma sanayisinde LASER teknolojisinin kullanımı çeşitli amaçlar için yaygınlaşmaktadır:

- Hedef Tespiti ve Mesafe Ölçümü: LASER ile hedeflerin tespiti, mesafe ölçümü ve imhası yapılmaktadır.
- Ateşli Silahlar, Mayın ve Kaçak Tespiti: Manuel silahlarda LASER, nişan alma, hedef vurma ve mesafe tespitinde kullanılmaktadır. LASER, mayınların temassız tespit ve imhasında, kontrol noktalarında uyuşturucu, kaçak silah, patlayıcı ve radyoaktif maddelerin tespitinde kullanılmaktadır.
- Program Kontrollü Silahlar: Kendiliğinden program kontrollü silah, bomba, roket, tanksavar, uçaksavar ve tank toplarında LASER, hedef bulma, mesafe belirleme ve nişan almada kullanılmaktadır.
-

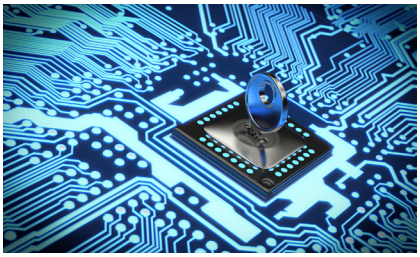
Laserle askeri alanda hedef tespiti ve ateşli silahlar

Astreoidin laserle yok edilmeye çalışılması

Veri Bilimi ve Nanobilim Alanı

LASER teknolojisi, verilerin ve sinyallerin iletilmesi, CD, DVD ve bilgisayar gibi cihazlara kaydedilmesi, yazıcılarda basılması, verilerin değerlendirilmesi ve analizinde kullanılmaktadır. Ayrıca, iki ve üç boyutlu tarama ile karmaşık model parçaların üretimi LASER ile yapılmaktadır. LASER teknolojisindeki gelişmeler, nanoteknolojik elektronik devreler ve mekanizmaların 10^{-9} m boyutlarında geliştirilmesine olanak sağlamaktadır.

CD ve DVD lerin okunmasında LASER teknolojisi kullanılmaktadır.


Elektronik devrelerin hazırlanmasında lazer teknolojisi

İletişim ve Haberleşme Alanı

LASER teknolojisi, ses ve görüntü iletiminde kayıpsız ve yüksek kaliteli performans sağlaması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu alanda öne çıkan noktalar,

- Yüksek Kapasiteli İletim ve Gelişmiş Veri Transferi: 4 GHz'lik laserli taşıyıcı frekans sistemleri, aynı anda 1.000 telefon görüşmesini gerçekleştirebilir ve büyük veri hacimlerini aynı anda taşıyabilir. Telekomünikasyon altyapısı, optik fiber ağlar, kablosuz iletişim ve uydu sistemleri gibi çeşitli alanlarda kullanılır, esnek ve çok yönlü kullanım alanı sunar. Ayrıca yüksek frekanslarda çalışabilen lazerler, büyük miktarda veriyi hızlı ve güvenli bir şekilde iletebilir, internet veri merkezleri ve geniş bant iletişim ağlarında avantajlar sağlar.
- Uydu İletişimi: Laserler, uydu iletişim sistemlerinde veri transferi için kullanılır ve uzak mesafelerde düşük sinyal kaybı ile yüksek veri transfer hızı sağlar. Laser ışığı, düşük hata oranı ve yüksek bant genişliği sunarak ses ve görüntü sinyallerini kayıpsız ve yüksek kalitede iletir.
- Bu avantajlar, modern iletişim sistemlerinin etkinliğini ve güvenilirliğini artırarak, ses ve görüntü iletiminde yüksek kalite ve performans sunar.

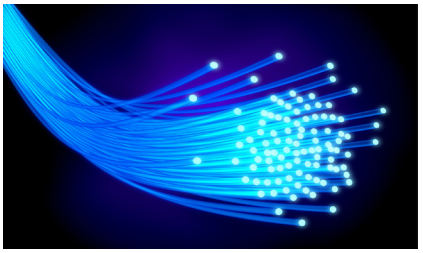
Küresel ağ veri teknolojisinde web bağlantı sistemi, telekomünikasyon alanı, uydu sinyal bağlantısı ve görüntünün NASA tarafından döşenmiş unsurları

Enerji Alanı

Laser ışınları ve teknolojisi enerji sektöründe çeşitli uygulamalarla önemli avantajlar sağlamaktadır.

- Güneş Enerjisi: Laserler, güneş panellerinin verimliliğini artırmak için yüzeylerini mikroyapısal olarak modifiye eder, daha fazla ışık emilimini ve enerji üretimini sağlar. Güneş hücrelerinin verimliliğini artırmak ve üretim sürecini optimize etmek için yüzeylerine ince yapılar kazandırır.
- Nükleer Füzyon: Yüksek güçlü laserler, füzyon reaksiyonlarını tetiklemek için kullanılarak temiz ve sınırsız enerji potansiyeli sunar.
- Enerji Verimliliği, Kablosuz Enerji İletimi ve Depolama: Lazer tabanlı ölçüm ve izleme sistemleri, enerji tesislerinin verimliliğini artırarak enerji tasarrufu sağlar. Lazerler, enerjinin bir noktadan diğerine iletilmesini mümkün kılar, özellikle uzaktan enerji transferi gerektiren uygulamalarda kullanılır ve bataryaların performansını artırmak için kullanılır.
- Temiz Enerji Teknolojileri: Laserle desteklenen kimyasal reaksiyonlar yardımıyla belirli kimyasal reaksiyonları tetikleyerek veya hızlandırarak temiz enerji üretim süreçlerini destekler.

Bu uygulamalar, laser teknolojisinin enerji üretimi, depolama ve iletiminde geniş kullanım olanakları sunduğunu göstermektedir.



Fiber optik ağ kablosu ışıkları

MEBİ

mebi.eba.gov.tr